



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra vozidel a motorů

**ANALÝZA JÍZDY VOZIDLA S VYUŽITÍM
GYROSKOPICKÉHO SNÍMAČE**

**ANALYSIS OF VEHICLE BEHAVIOR DURING USAGE OF
GYROSCOPIC SENSOR**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Věroslav Cvrček

Květen 2013



Katedra vozidel a motorů

Program: N2301 Strojní inženýrství
Obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení
Zaměření: Kolové dopravní a manipulační stroje

**ANALÝZA JÍZDY VOZIDLA S VYUŽITÍM
GYROSKOPICKÉHO SNÍMAČE**

**ANALYSIS OF VEHICLE BEHAVIOR DURING USAGE OF
GYROSCOPIC SENSOR**

Diplomová práce

KVM – DP – 658

Bc. Věroslav Cvrček

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert Voženílek, Ph.D. - TU v Liberci, KVM

Konzultant diplomové práce: Ing. Ondřej Dráb - TU v Liberci, KVM

Počet stran: 87

Počet obrázků: 75

Počet příloh: 1

Počet tabulek: 4

Počet výkresů: 0

Květen 2013

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Analýza jízdy vozidla s využitím gyroskopického snímače

Anotace

Tato diplomová práce popisuje možnosti analýzy jízdy vozidel. Blíže se věnuje monitorování jízdy pomocí gyroskopického snímače Xsens Gyro MTi a zpracování dat programem DEWESoft. Podrobně se zabývá návrhem upevnění a umístění senzoru ve vozidle a jeho vlivu na přesnost měřených veličin. V rámci této práce bylo provedeno a zpracováno několik desítek měření na třech různých vozidlech včetně soutěžního speciálu Škoda Octavia WRC. Součástí přílohy je manuál k instalaci a nastavení veškerého softwaru potřebného k analýze.

Klíčová slova: gyroskopický snímač, analýza jízdy, Xsens, DEWESoft

Analysis of Vehicle Behavior During Usage of Gyroscopic Sensor

Annotation

This thesis describes possibilities of analysis of vehicle behavior. In more detail, it deals with monitoring of the drive by means of gyroscopic sensor Xsens MTi and with processing of the data by means of program DEWESoft. In a similar way, it deals with a proposal of sensor fixing and location in the vehicle and its influence on the accuracy of measured data. In the context of this thesis were realized and evaluated several tens of measurements on three different cars including a special rally car Skoda Octavia WRC. There is also an installation and manual for setting all software which is needed for the analysis.

Key words: gyroscopic sensor, vehicle behavior, Xsens, DEWESoft

Desetinné třídění:

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2013

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že se na moji diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 23.5.2013

.....
podpis

Poděkování

Chtěl bych především poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia maximálně podporovali. Lucii Hemmerové za asistenci během měření. Dále Rexteam rally týmu za možnost využití týmového vozu Škoda Octavia WRC pro účely měření a vozidlových vah k měření pro určení polohy těžiště. Velmi vděčím vedoucímu DP Ing. Robertu Voženílkovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace a rady. V neposlední řadě děkuji České republice a Technické univerzitě v Liberci za možnost svobodného studia, což v nedávných dobách nebylo samozřejmostí.

Seznam symbolů a jednotek

GS	Gyroskopický snímač	
ŘJ	Řídicí jednotka	
ABS	Regulace prokluzu kol při brzdění	
ESP	Elektronický stabilizační systém	
WRC	World Rally Car	
PN	Přední náprava	
ZN	Zadní náprava	
OBD	Komunikační protokol	
GPS	Globální družicový polohový systém	
A_x , Acc X	Zrychlení v ose x	$[m \cdot s^{-2}]$
A_y , Acc Y	Zrychlení v ose y	$[m \cdot s^{-2}]$
A_z , Acc Z	Zrychlení v ose z	$[m \cdot s^{-2}]$
Gyr X	Stáčivá rychlost kolem osy x	$[rad \cdot s^{-1}]$
Gyr Y	Stáčivá rychlost kolem osy y	$[rad \cdot s^{-1}]$
Gyr Z	Stáčivá rychlost kolem osy z	$[rad \cdot s^{-1}]$
a_{x0}	Naměřené zrychlení v ose x před korekcí	$[m \cdot s^{-2}]$
a_{y0}	Naměřené zrychlení v ose y před korekcí	$[m \cdot s^{-2}]$
t	Čas	[s]
s	Dráha	[m]
v	Rychlost vozidla	$[m \cdot s^{-1}]$
g	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
ψ	Klopení vozidla kolem osy x	[°]
φ	Klopení vozidla kolem osy y	[°]
MAP	Tlak plnicího vzduchu v sání motoru	[kPa]
η_P	Účinnost převodových ústrojí	[-]
J_K	Moment setrvačnosti rotačních hmot kol	$[kg \cdot m^2]$
J_M	Moment setrvačnosti rotačních hmot motoru	$[kg \cdot m^2]$
ξ	Součinitel vlivu rotačních hmot	[-]
r_K	Poloměr kola	[m]
f	Součinitel valení	[-]
O_f	Odpor valení	[N]

c_x	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
S_x	Čelní plocha automobilu	[m ²]
O_v	Odpor vzduchu	[N]
G	Tíha vozidla	[N]
D	Dynamický faktor	[-]
F_k	Hnací síla na kolech	[N]
M_m	Točivý moment motoru	[Nm]
P_m	Výkon motoru	[kW]
i_P	Převodový poměr převodovky	[-]
i_R	Převodový poměr rozvodovky	[-]
μ	Součinitel adheze	[-]
l	Rozvor náprav	[mm]
h_t	Výška těžiště	[mm]
l_p	Vzdálenost těžiště od přední nápravy	[mm]
l_z	Vzdálenost těžiště od zadní nápravy	[mm]
m	Celková hmotnost automobilu	[kg]
m_p	Zatížení přední nápravy	[kg]
m_z	Zatížení zadní nápravy	[kg]
h	Výška podložení kol nápravy při měření výšky těžiště	[mm]
β	Sklon automobilu při měření výšky těžiště	[°]
x	Rozložení hmotnosti mezi přední a zadní nápravou	[%]

Obsah

1	ÚVOD	10
1.1	ANALÝZA JÍZDY	11
1.2	PRINCIP FUNKCE GYROSKOPU A GS	13
2	XSENS GYRO.....	15
2.1	POPIS GS XSENS	15
2.2	TECHNICKÉ PARAMETRY	17
2.2.1	XSENS MTI	17
2.2.2	POROVNÁNÍ S JINÝMI SENZORY	18
2.3	PODMÍNKY MĚŘENÍ	20
3	MĚŘICÍ ŘETĚZEC	22
3.1	POPIS MĚŘICÍHO ŘETĚZCE	22
3.2	PROGRAM DEWESOFT	28
3.2.1	UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ.....	28
3.2.2	MOŽNOSTI VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	29
4	VLASTNÍ MĚŘENÍ	31
4.1	ZJIŠTĚNÍ POLOHY A VÝŠKY TĚŽISTĚ	31
4.2	UPEVNĚNÍ GS DO VOZIDLA	34
4.3	UMÍSTĚNÍ GS VE VOZIDLE	43
4.4	JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ A JEJICH VÝSLEDKY	53
4.4.1	ZKOUŠKA OVLADATELNOSTI VOZIDLA - LOSÍ TEST	53
4.4.2	URČENÍ SOUČinitele ADHEZE.....	58
4.4.3	POPIS STARTU VOZU ŠKODA OCTAVIA WRC.....	60
4.4.4	ZJIŠŤOVÁNÍ VÝKONNOSTNÍCH PARAMETRŮ POMOCÍ GS.....	63
5	UPLATNĚNÍ GS	66
5.1	VYUŽITÍ GS V SOUČASNÝCH AUTOMOBILECH.....	66
5.2	NÁVRHY BUDOUCÍHO UPLATNĚNÍ	67
6	ZÁVĚR	69
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71
8	PŘÍLOHY.....	72
8.1	NÁVODY PRO INSTALACI SW.....	72
8.1.1	DEWESOFT	72
8.1.2	USB / RS-232 PŘEVODNÍK	82
8.1.3	GPS PŘIJÍMAČ	85

1 ÚVOD

Automobilový průmysl se během dvacátého století stal dlouhodobě jedním z nejvýznamnějších odvětví hospodářství většiny vyspělých zemí světa. Toto platí i pro většinu evropských zemí. Stejně jako roste počet ročně vyrobených vozidel, velikost sítě infrastruktury, servisní sítě, stoupá i vliv automobilismu na každého člověka. Roste i počet lidí, kteří jsou na automobilech více či méně závislí, ať již si to připouští, nebo ne. Lidé využívají automobily buď přímo - tedy k vlastní přepravě nebo v podnikání, nebo nepřímo - kdy využívají velkého množství importovaného zboží, především kamionovou dopravou. Automobily prostě k dnešnímu životu neodmyslitelně patří, což samozřejmě znamená pohodlnou, svobodnou a rychlou přepravu a velký sortiment zboží a potravin především z celé Evropy, ale částečně i z celého světa. Kromě velkého množství výhod představují automobily bohužel i některá rizika a nevýhody. Zejména v posledních dvaceti letech se velmi spekuluje o škodlivosti motorových vozidel na životní prostředí. Dalším problémem jsou rizika ohrožení zdraví a života lidí při dopravních nehodách. Moderní trendy v automobilovém průmyslu směřují kromě snižování škodlivosti provozu automobilů na životní prostředí, s tím souvisí nízká spotřeba paliva a hospodárnost provozu, i na pohodlí jízdy a bezpečnost provozu. Toto je dáno jak legislativními předpisy pro výrobce automobilů, ale zejména snahou každé automobilky nabídnout na trh vozidlo s těmi nejlepšími vlastnostmi. Pasivní bezpečnost vozidel se zvyšuje díky rozvoji simulačních procesů metodou konečných prvků a díky použití vhodných materiálů. Jedna z nejvýznamnějších cest v oblasti zvyšování bezpečnosti je však posilování aktivní bezpečnosti, která se snaží co nejvíce zabránit případné havárii. Způsobů zvyšování aktivní bezpečnosti je mnoho, například správně naladěný podvozek, vhodný výhled z vozidla, snadné a čitelné ovládání vozidla a v poslední době i elektronické systémy stabilizace jízdy. Tyto systémy napomáhají řidiči ovládat vozidlo takovými způsoby, které člověk není schopen vykonat. Ať už se myslí rychlost reakce, velikost ovládací síly nebo množství akčních členů, které není schopen řidič najednou ovládat. Tyto systémy se začaly rozvíjet s možností využití polovodičových obvodů, které jsou schopny doplnit výše uvedené nedostatky řidiče. Jedním ze snímačů vstupních hodnot pro tyto systémy může být právě gyroskopický snímač, kterým se zabývá tato diplomová práce. Avšak podpora stabilizačních

systémů není jediným uplatněním gyroskopických snímačů, výrazné uplatnění také nacházejí při vývoji a zkouškách vozidel, při kterých napomáhají monitorovat jejich pohyb. Moderní elektronické gyroskopické snímače měří nejen rychlost otáčení kolem určité osy (v oblasti analýzy jízdy označované jako stáčivá rychlost), čemuž napovídá i původem řecké slovo gyroskop, znamenající speciální setrvačnick. Ale součástí může být i snímač zrychlení v určité ose (tzv. akcelerometr).

1.1 ANALÝZA JÍZDY

Předmětem této diplomové práce je analyzovat jízdu vozidla s využitím gyroskopického snímače. Tím se rozumí rozbor vlastností a vazeb určitých veličin, které se vyskytují během jízdy vozidla.

Rozlišujeme analýzu jízdy, kterou automaticky provádí moderní vozidla během každé jízdy s cílem zajištění co nejvyšší stability a ovladatelnosti vozidla. Jiným pohledem můžeme analýzu jízdy chápat jako výzkumnou činnost vedoucí k objasnění různých jevů, zákonitostí a vlastností vznikajících během provozu automobilů v různých provozních stavech a jejich optimalizaci k dosažení bezpečného a předvídatelného chování vozidla ve všech režimech. Přirozený vývoj jízdních vlastností automobilů provázel vývoj automobilů již od počátku automobilové techniky. Avšak po zavedení velmi výkonných pohonných jednotek osobních automobilů koncem minulého století se zdál tehdejší podvozek nedostatečný a tudíž bylo nutné vyrovnat kvalitu jízdních parametrů tak, aby řidiči mohli co nejbezpečněji ovládat vozidla během maximálních rychlostí a akcelerací. Jako příklad uvedu zavedení první generace vozu Audi TT, u kterého na nepoměr mezi výkonem motoru a kvalitou podvozku doplatilo mnoho méně zkušených řidičů většinou velmi vážnými haváriemi. Během posledních 20 let se schopnosti podvozku mnohonásobně zvýšily, jak v oblasti kinematiky zavěšení kol, tak i dynamické vlastnosti naladění tlumičů a brzd. I tyto optimalizace mají své technicky-konstrukční meze, a proto se jako další vylepšení použily systémy stabilizace jízdy, jejichž základní verze (například protiblokovací systém brzd ABS) se vyskytovaly u vybraných verzí vozidel již dříve. Výrazným rysem vývoje systémů zvyšujících bezpečnost jízdy je jednak výrazné rozšiřování jeho funkcí a dále také použití i u vozidel nižší cenové kategorie, které si vyžaduje trh, nebo dokonce homologační předpisy.

Pro zjištění a následnou analýzu jízdních vlastností potřebujeme získat určitá data popisující provozní stav daného vozidla a jeho chování. Za průkopníka takového zkoumání v automobilové technice se považují okruhové závody automobilů a zejména závody Formule 1, kde se tradičně vyskytují nejmodernější elektronické systémy. Měření a sběr různých dat se nazývá telemetrie a využívá se k posouzení vlivu určité změny v nastavení nebo i různého jízdního stylu řidiče.

Rozvoj a možnosti využití telemetrie a analýzy jízdy můžeme ukázat na soutěžních vozidlech Škoda. Až do roku 1994 byly hlavními parametry pro analýzu jízdy stopky a subjektivní pocity jezdce, neboť vozidlo Škoda Favorit 136L nebylo osazeno žádnou řídicí jednotkou, ani žádným měřicím a záznamovým zařízením. Od roku 1995 se s příchodem vozu Škoda Felicia Kit Car začala používat řídicí jednotka, která řídila vstřikování a zapalování motoru. Tato řídicí jednotka (EFI EURO 6) však nabízela jako jedinou telemetrickou funkci, kterou je záznam počtu a velikosti přetočení motoru. Stejně tak tomu bylo i u Škody Octavie Kit Car. Výrazný pokrok, a to nejen v oblasti telemetrie, přišel v roce 1999 s vozem Škoda Octavia WRC, která byla osazena nejen řídicí jednotkou přeplňovaného motoru EFI EURO 12, ale i řídicí jednotkou GEMS ovládající aktivní svornost diferenciálů pohonu všech kol. Řídicí jednotka motoru nově umožňovala záznam mnoha veličin např. otáček motoru, otáček turbodmychadla, polohy škrticí klapky, velikosti předstihu, vstřikovaného množství paliva, bohatosti spalované směsi, teplot a tlaků provozních kapalin, rychlosti vozidla, zařazeného rychlostní stupně a spoustu dalších veličin. Řídicí jednotka aktivních diferenciálů pak umožňovala analýzu podloženou daty ze snímačů otáček všech kol, polohy škrticí klapky, tlaku v brzdovém systému, aktivace ruční brzdy a ovládacích hydraulických tlaků jednotlivých diferenciálů. O tato nenahraditelná data se opíral vývoj nastavení diferenciálových map, mající zásadní vliv na jízdní vlastnosti tohoto vozu. Dalším krokem v oblasti telemetrie se v roce 2003 stala Škoda Fabia WRC disponující elektronikou Bosch a PI, zaznamenávající o mnoho více parametrů než její předchůdce. Z pohledu diferenciálů přibýlo snímání úhlu natočení volantu a z pohledu celkové analýzy možnost zobrazení velikosti proudového odběru většiny spotřebičů vozidla, například jednotlivých ventilátorů, podávacích čerpadel paliva a mnoho dalších, stejně tak stav všech ovládacích prvků. Tato data mimo jiné umožňovala kontrolu funkčnosti a předpokládaný stav životnosti jednotlivých akčních členů, například proudový odběr elektromotoru palivového

čerpadla umožňoval určit jeho funkčnost a odhadovat jeho technický stav. Kromě těchto stálých elektronických zařízení se během vývojových testů používaly senzory velikosti vyvěšení jednotlivých kol a G senzor, podle kterých se při analýze kompletně modelovala jízda do posledního detailu. Takovou analýzu využívali nejen technici k posouzení jednotlivých změn nastavení podvozku (vlastnosti tlumiče a pružiny pérování, nastavení příčných zkrutných stabilizátorů a geometrie podvozku), ale i jezdci, kteří tím zdokonalovali svůj jízdní styl. Podobnou telemetrii využíval tovární tým Škoda Motorsport při vývoji nejnovějšího soutěžního vozu Škoda Fabia Super 2000. Tento vůz již nevyužívá aktivně řízené diferenciály, proto používá pouze řídicí jednotku motoru Magnetti Marelli, zaznamenávající opět data ze všech možných elektrických zařízení, včetně jednotlivých světel. Přestože není jako akční člen využita hodnota úhlu natočení volantu, je tento vůz osazen snímačem úhlu natočení volantu sloužící pouze k orientaci v analýze jízdních stavů. Mezi další senzory, jejichž hodnoty slouží pouze k následné analýze jízdních stavů, patří snímač tlaku předního a zadního brzdového okruhu, tlaku odpojovací spojky zadní nápravy nebo rychlosti vozidla. Za největší a nejmodernější pokrok využití telemetrie považují využití dat naměřených při jednotlivých závodech a následnou simulaci zatížení motoru při životnostním nebo optimalizačním testu motoru na brzdovém stanovišti. Nejenže se z průběhu naměřených otáček a zatížení motoru (poloha škrticí klapky) simuluje zatížení motoru v akceleračním smyslu, ale dokonce se z hodnoty brzdných tlaků a podélného zpomalení simuluje decelerace, mající nezanedbatelný vliv na životnost motoru.

S jistou provázaností můžeme nahlížet na vývoj v telemetrii soutěžních a sériových vozidel. Jistě, že běžný uživatel vozidla nebude po jízdě získávat a analyzovat data, nebo dokonce nějak upravovat parametry vozidla. Toto mají za úkol pracovníci vývojových oddělení automobilek.

1.2 PRINCIP FUNKCE GYROSKOPU A GS

Gyroskopický snímač vznikl zjednodušením a využitím elektroniky na klasickém mechanickém gyroskopu. Funkce gyroskopu vychází z principu setrvačníku, který si díky své vysoké úhlové rychlosti a momentu setrvačnosti uchovává směr své osy rotace i přes působení vnějších sil, respektive zrychlení. Základní parametry

gyroskopu, kterými myslíme rychlost otáčení a velikost momentu setrvačnosti, musí být optimálně navrženy s ohledem na požadovanou přesnost a provozní využití gyroskopu. To se může lišit dle velikostí a rychlostí změn vnějších sil působících na gyroskop, které ovlivňují směr osy rotace setrvačníku. Největší vliv na přesnost má však schopnost udržet stálé otáčky setrvačníku.

Gyroskop v této ryze mechanické podobě byl vyvinut nejprve pro vojenské účely. Klasické využití se nachází v kanonu tanku, u kterého stabilizuje prakticky trvalé podélné houpání tanku a umožňuje dlouhodobě zaměřit cíl bez ohledu na houpání celého tanku. Později se gyroskopy začaly využívat pro balistické střely, u kterých vyrovnávaly nepředpokládané vnější síly (zejména povětrnostní podmínky). Dále se gyroskop využívá jako informativní prvek pro piloty letadel.

2 XSENS GYRO

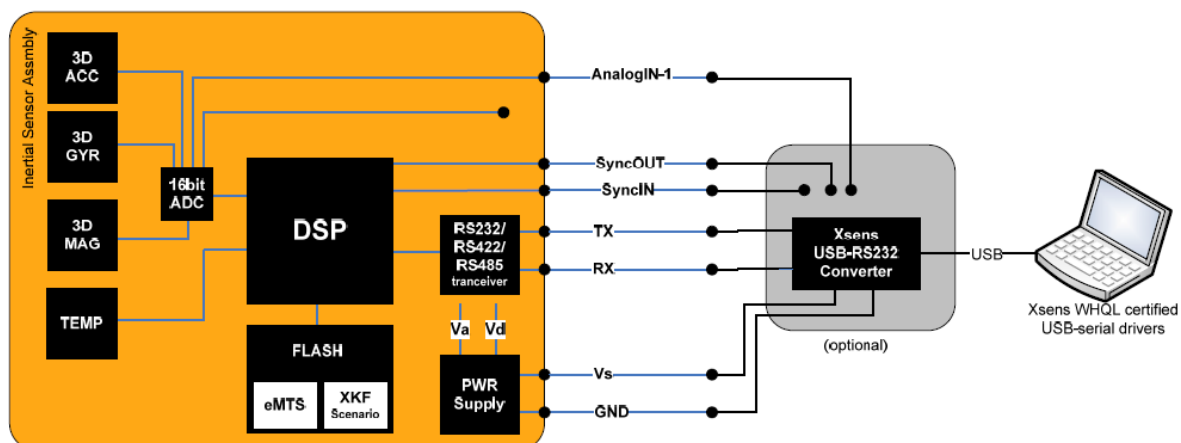
2.1 POPIS GS XSENS

Katedra vozidel a motorů na TUL pro účely měření a analýzy jízdy vozidla pořídila senzor Xsens Gyro MTi. Jedná se o miniaturní sofistikovaný snímač zrychlení ve všech třech osách, stáčivé rychlosti kolem všech tří os a díky funkci AHRS (Attitude and Heading Reference System) umožňuje monitorovat i polohu, směr a sklon snímače. Součástí senzoru je i interní nízkopříkonový signálový procesor zajišťující 3D orientaci spolu s kalibrovaným 3D zrychlením, 3D úhlovou rychlostí a 3D daty magnetického pole Země.



Obr. 2.1 Senzor Xsens Gyro MTi [7]

Obrázek 2.2 znázorňuje blokové schéma popisovaného snímače. Základ tvoří senzory zrychlení, stáčení a magnetického pole. Tyto hodnoty jsou zpracovávány v procesoru a pomocí sběrnice RS-232 přenášeny do počítače. V našem případě je k příjmu dat v počítači využit protokol a konektor USB. Mezi snímačem a počítačem tedy musí být použit převodník RS-232 / USB.



Obr. 2.2 Schéma snímače Xsens Gyro MTi [7]

K výpočtu orientace tohoto senzoru slouží tzv. Xsens Kalman Filter pro tři stupně volnosti. Jedná se o systém kombinace snímaných parametrů k propočtu a optimalizaci sklonu a úhlu natočení souřadného systému snímače během monitorovaného pohybu vůči referenčnímu statickému souřadnému systému. Obecně se tento systém nazývá AHRS (z anglického Attitude and Heading Reference System). Tato strategie využívá hodnoty interních snímačů stáčivé rychlosti, zrychlení a magnetického pole k určení nejpřesnější orientace v trojrozměrném prostoru. Orientace v prostoru vychází z hodnoty stáčivých rychlostí kolem jednotlivých os v jednotkách radiány za sekundu. Pokud tuto hodnotu integrujeme podle času, získáme změnu úhlu natočení kolem dané osy. Pro zajištění maximální přesnosti není tento postup naprosto přesný, neboť při působení různých dynamických změn se může výsledný úhel lišit od skutečného náklonu. Pro kompenzaci této chyby využívá výpočetní algoritmus i hodnoty interního akcelerometru a magnetometru, ze kterých pro optimalizaci polohy využívá působení zemské gravitace a zemského magnetického pole.

Výše uvedený princip využití gravitačního zrychlení k optimalizaci výsledků měření sklonu senzoru Xsens MTi vychází z předpokladu, že průměrná zrychlení pohybu mají nulovou hodnotu. Pokud se tedy odfiltrují změny zrychlení vyvolané pohybem měřeného tělesa, získáme směr trvale působícího gravitačního zrychlení. Tento relativně jednoduchý princip produkuje přesné výsledky pouze za předpokladu správně zvolené délky periody průměrování hodnot akcelerace a následné korekce sklonu. Délka periody dosahuje hodnot 10 až 20 sekund, během které se hodnota sklonu zjišťuje pouze výpočtem z hodnot stáčivé rychlosti. Problém nastává v případech dlouhodobých akcelerací, které nebývají v automobilové technice až tak výjimečné. Pro tyto účely je pak vhodné doplnit senzor Xsens MTi snímačem polohy na principu GPS.

Na obdobném principu funguje výpočet a zpřesňování směru (kurzu) s rozdílem, že se místo gravitačního zrychlení využívá severní pól magnetického pole. Pokud se snímač pohybuje v proměnném místním magnetickém poli, opět dochází k odfiltrování výkyvů magnetického pole a tím určení správné reference. V situacích, při kterých se snímač dlouhodobě (déle jak 10 až 20 sekund) nachází ve stálém

lokálním magnetickém poli, se přeorientuje a jako referenční magnetické pole k určení směru využívá tohoto lokálního magnetického pole.

Vzhledem k výše popsaným postupům a velmi širokému uplatnění tohoto snímače je pro získání těch nejpřesnějších výsledků nutné zvolit odpovídající scénář, který předpokládá určitý charakter pohybu a s tím související periodu průměrování a zpřesňování. Uživatel má na výběr tyto scénáře pohybů: "human" (lidský pohyb), "machine" (pohyb strojních zařízení) a "marine" (pohyb lodí).

Pro pohyb lidí si uživatel může vybrat ze dvou scénářů. "Human" pro běžný pohyb lidí, spíše pomalejší pohyby a změny za předpokladu pohybu v uzavřených prostorech a s tím související magnetická pole. "Human_large_accel" naopak předpokládá rychlé pohyby s úhlovou rychlostí převyšující 1200 °/s a zrychlením přes 5g ($49,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

Velmi široký rozsah pohybů patří do scénáře "machine". Oproti scénáři "human" se předpokládají déle trvající zrychlení s nižšími hodnotami. Pro pohyb strojů v nepoužitelném magnetickém poli pro zpřesňování směru souřadného systému slouží speciální scénář označovaný "machine_nomag," který je užitečný v situacích, kdy by zpřesňování pomocí magnetického pole mohlo znehodnotit výsledky.

Velmi specificky se pohybují lodě a další různá plavidla, jejich pohyb se vyznačuje velmi malými amplitudami výchylky a dlouhými periodami. Pro daná měření je vhodné nastavení "marine", které kromě tohoto specifického pohybu uvažuje i mírné magnetické odchylky. [7]

2.2 TECHNICKÉ PARAMETRY

2.2.1 XSENS MTI

Snímač disponuje čtvercovou základnou z lehké slitiny o rozměrech 58*58 mm, výška tělesa dosahuje 22 mm. Hmotnost senzoru je pouhých 50 g.

Mezi hlavní elektrické vlastnosti patří operační napětí s hodnotami 4,5 – 30 V. Jmenovité napětí je však 5 V, protože právě při této hodnotě dosahuje snímač nejvyšší účinnosti. S vyšším operačním napětím účinnost klesá až na 75% při 30 V. Průměrný příkon činí 350 mW, což při operačním napětí 5 V představuje proud 70 mA. Špičkový odběr proudu při spuštění může přesáhnout 200 mA, proto je nutné zkontrolovat možnosti externího zdroje, pokud je použit. V běžných případech

dodává elektrickou energii osobní počítač, který naopak přijímá snímačem naměřená data. Vzhledem k tomu, že jmenovité napětí USB portů je právě 5 V, používá se jako napájení snímače.

Maximální rozsah pracovních teplot se pohybuje od -20°C do 55°C, což pro běžné měření při zkoušení automobilů postačuje, samozřejmě by v některých specifických případech mohla teplota při měření přesáhnout jak spodní, tak i horní hranici. Navíc rozsah teplot, při kterých snímač vykazuje zaručenou jmenovitou přesnost výsledků, se pohybuje od 0°C do 55°C. Za předpokladu umístění senzoru v kabině automobilu, která bývá zpravidla vytápěná, by měl být i tento rozsah dostatečný. Skutečná teplota při měření v zimním období by mohla být mimo rozsah, například při měření přípojných, nákladních nebo speciálních vozidel, pokud by byl snímač umístěn mimo vytápěnou kabinu. Při provozu za běžných pokojových teplot bývá teplota uvnitř senzoru 33-40°C, toto vlastní ohřívání představuje ztráty při činnosti elektronických součástí uvnitř senzoru. A protože pouzdro snímače je vodotěsné, není chlazení přímo optimální. [7]

Veličina		stáčivá rychlost	zrychlení	magnetické pole	teplota
Jednotky		[°/s]	[m*s ⁻²]	[mGauss]	[°C]
Dimenze		3 osy	3 osy	3 osy	-
Rozsah	[jednotky]	±300	±50	±750	-55...+125
Linearita	[% rozsahu]	0,1	0,2	0,2	<1
Odchylka	[jednotky 1σ]	1	0,02	0,1	-
Poměrná odchylka	[% 1σ]	-	0,03	0,5	-
Hustota šumu	[jednotky*Hz ^{-0,5}]	0,05	0,002	0,5	-
Odchylka SS	[°]	0,1	0,1	0,1	-
Šířka pásma	[Hz]	40	30	10	-
A/D rozlišení	[bity]	16	16	16	12

Tab. 2.1 Rozsahy a vlastnosti měření jednotlivých veličin senzorem Xsens MTi [7]

2.2.2 POROVNÁNÍ S JINÝMI SENZORY

Na trhu je k dispozici široká nabídka specifické měřicí techniky a gyroskopické snímače nejsou výjimkou. Požadavek na měření a popis chování vozidla při jízdě vyžaduje získání mimo jiné hodnoty zrychlení a stáčivých rychlostí.

Alternativním řešením při volbě měřicího systému sloužícímu k monitorování jízdy mohou být například produkty společnosti Kistler Automotive GmbH, která nabízí jak široké spektrum multifunkčních senzorů k měření stáčivých rychlostí a zrychlení v jednotlivých



Obr. 2.3 5-ti osý senzor pohybu kola Kistler RV4 [10]

osách, ale i další senzory vhodné pro analýzu jízdy. Patří mezi ně měřič síly působící na pedál, senzor úhlu natočení volantu a točivého momentu působícího ve volantové tyči. Vrcholem nabídky senzorů od společnosti Kistler je bezpochyby 5-osý senzor pohybu kola, který kromě měření pohybu středu kola ve všech osách s rozsahy pro osy x a y ± 150 mm a ± 200 mm pro osu z s přesností ± 1 mm, dále umožňuje monitorovat úhel zatočení kola v rozsahu $\pm 45^\circ$ vpravo i vlevo s maximální odchylkou $\pm 0,1^\circ$. Poslední měřenou veličinou je úhel záklonu rejdové osy, který



Obr. 2.4 gyroskopický senzor Kistler TANS [10]

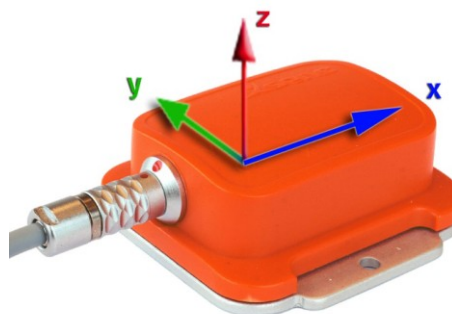
umožňuje měření v rozsahu $\pm 10^\circ$ při přesnosti $\pm 0,2^\circ$. Hmotnost takového měřicího zařízení se pohybuje kolem 12 kilogramů, z nichž 2,5 kilogramu se spojením se středem kola stává neodpruženou hmotou. Samozřejmostí je velký rozsah provozních teplot a vodotěsnost. Parametry gyroskopického snímače Xsens výrazně převyšují konkurenční senzor od společnosti Kistler, který dosahuje rozsahu měření stáčivých rychlostí ± 150 $^\circ/\text{s}$, což je přesně polovina rozsahu Xsens MTi. Stejně tak rozsah měření zrychlení se nemůže rovnat vlastnostem Xsens. Konkrétně rozsah akcelerometru Kistler dosahuje pouze $\pm 3g$, což odpovídá $\pm 29,43 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, oproti

$\pm 50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Gyroskopický snímač Xsens překonává konkurenci i v oblastech přesnosti a citlivosti. Jediným kritériem ve prospěch senzoru Kistler se zdá být přívětivější rozsah provozních teplot, který umožňuje měření od -40°C až do 85°C . Senzor Kistler má 4,6krát větší hmotnost než Xsens, což může být způsobeno bytelným hliníkovým tělesem. Dalšími možnými produkty od společnosti Kistler využitelné pro testování automobilů bych zmínil pestrou nabídku optických přístrojů, sloužících k monitorování rychlosti jízdy (rozsah $0,3 - 400 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) a pozice s rozlišením $2,08 \text{ mm}$. Nabídka dále obsahuje GPS senzory, tlakoměry, průtokoměry a bezkontaktní teploměry. Samozřejmostí je komplexní nabídka softwaru k měření, záznamu a analýze dat. Při měření velkého množství veličin nebo vysoké vzorkovací frekvenci je nutností použít nabízenou měřicí ústřednu, která zajistí přenos informací. [10]

Další společnost, která nabízí měřicí zařízení včetně akcelerometrů, je Sherborne Sensors. Ovšem její nabídka neposkytuje tak široké množství senzorů pro měření veličin při analýze jízdy jako nabídka výše uvedených měřicích systémů. Senzor Xsens dosahuje výborných parametrů a spolu se softwarem Dewesoft vytváří velmi profesionální moderní měřicí systém pro analýzu jízdy, který je možné doplnit dalšími senzory nebo výstupními kanály.

2.3 PODMÍNKY MĚŘENÍ

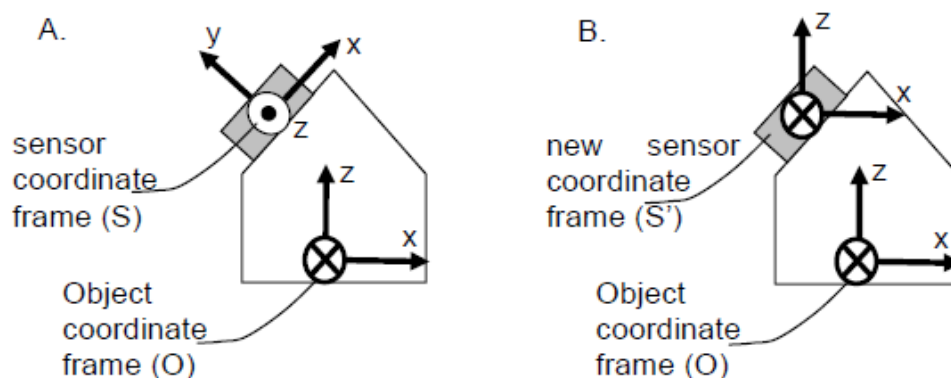
Snímač Xsens MTi je definován pravoúhlým kartézským souřadným systémem, jehož orientaci znázorňuje obrázek 6. Během výroby se s maximální přesností souřadný systém kalibruje vůči tělesu s limitní úchylkou $0,1^\circ$ mezi souřadnými osami a tělesem snímače. To mimo jiné zaručuje kolmost dat v osách XYZ i pro všechny výsledky 3D zrychlení, stáčivé rychlosti a magnetického pole se stejnou tolerancí. Tento souřadný systém značíme S a je trvale pevně vázán s tělesem snímače.



Obr. 2.5 Základní souřadný systém snímače Xsens Gyro MTi [7]

Snímač trvale porovnává polohu svého souřadného systému S se zemským souřadným systémem G , který se definuje osami x mající kladný směr směřující k magnetickému severnímu pólu, osou z , která má kladný směr směrem vzhůru (proti gravitačnímu zrychlení) a osou y daná směrem a smyslem doplňující osy x a z v pravoúhlém kartézském souřadném systému (směřuje tedy na západ). Tento souřadný systém slouží jako reference pro výsledné zobrazování dat. Pro účely letectví umožňuje systém nastavit jako souřadný systém euklidovský souřadný systém, tedy kladný smysl osy z ve směru gravitačního zrychlení, osy x opět směrem k magnetickému severu a osa y opět doplněk do pravoúhlého systému, tentokrát tedy směřuje na východ.

Některé technické aplikace neumožňují montáž senzoru ve stejném souřadném systému mezi snímačem (S) a měřeným tělesem (O). Přesto však většinou požadujeme prezentaci naměřených dat v souřadném systému měřeného objektu O . Software pro ukládání a analýzu naměřených dat GS mimo jiné obsahuje funkci Object Reset, jejíž použití vytvoří nový souřadný systém senzoru (S') zobrazený na obrázku 2.5. Osa x nového souřadného systému vznikne průnikem původní osy x do horizontálního směru. Osa z se nastaví do směru gravitačního zrychlení, ale s opačným smyslem (osa z směřuje vzhůru). Osa y pak doplňuje osy x a z v pravoúhlém kartézském souřadném systému. Jediným požadavkem pro umístění senzoru tedy zůstává zachování směru osy x v systému S a osy x v systému O v jedné vertikální rovině. [7]

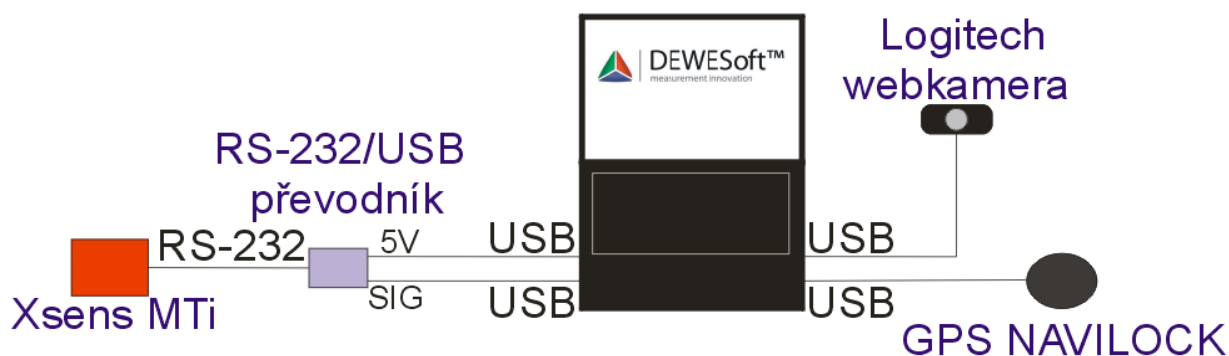


Obr. 2.6 Object Reset snímače Xsens Gyro MTi [7]

3 MĚŘICÍ ŘETĚZEC

3.1 POPIS MĚŘICÍHO ŘETĚZCE

Základní měřicí prvek pro analýzu jízdy touto diplomovou prací je gyroskopický senzor Xsens MTi, který pro propojení s USB portem počítače využívá převodník USB / RS323. Díky těmto dvěma zařízením zjišťujeme hodnoty aktuálního zrychlení ve všech třech osách, okamžité stáčivé rychlosti kolem všech tří os, hustotu magnetického pole ve třech osách a sklonu všech tří os vůči referenčnímu souřadnému systému. Průběh těchto veličin v závislosti na čase můžeme získat při vzorkovací frekvenci až 100Hz.



Obr. 3.1 Blokové schéma základního měřicího řetězce

Téměř žádné měření, ani analýza se neobejde bez informací o aktuální rychlosti během jízdní zkoušky, proto využíváme externí GPS přijímač NAVILOCK, díky kterému zjistíme mimo aktuální rychlosti i aktuální souřadnice polohy přijímače, nadmořskou výšku, směr natočení přijímače a počet využívaných satelitů. Přestože maximální frekvence vzorkování dosahuje pouze 1Hz a přesnost při dynamických pohybech není ideální, neboť nastává jisté zpoždění signálu, není pochyb o užitečnosti při analýze. Mimo významu signálu rychlosti využívaného pro výpočty různých parametrů má výrazný přínos i pro orientaci ve velkém množství naměřených dat.



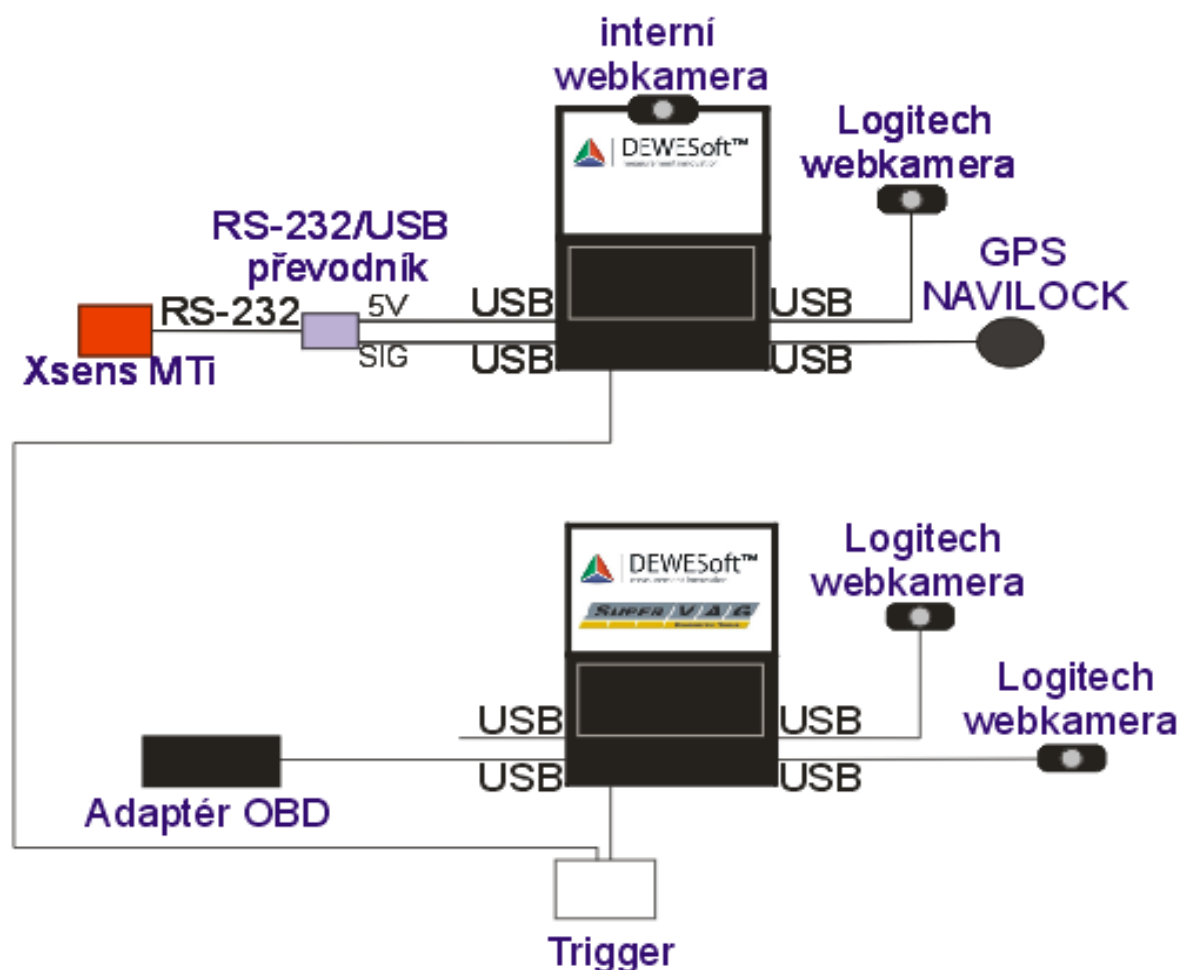
*Obr. 3.2 Umístění webkamery pro snímání videa z
perspektivy řidiče*

Pouze k orientaci v naměřených datech slouží externí video přijímač, jehož vzorkovací frekvence přesahuje 10Hz. Konkrétním typem video přijímače využívaným při našich měřeních se stala běžně dostupná webkamera Logitech.

Její připevnění do vozidla se provedlo díky speciálnímu držáku umístěnému na opěrce hlavy spolujezdce (dle obr. 3.2). Počet kamer limituje pouze možnost připojení do počítače, který disponuje pouze omezeným počtem USB portů. Při potřebě použití více kamer, než umožňuje připojit jeden notebook, můžeme využít i jeden nebo i několik dalších notebooků, které nám poskytnou další USB porty pro zapojení dalších kamer (obr. 3.3). V tomto případě musíme pouze zajistit současné spuštění ukládání měření všech snímačů a kamer, což zajistíme speciálním triggerem popsáním na konci této kapitoly. Stejně tak můžeme využít i interní webkameru, kterou disponuje většina moderních notebooků. Ovšem tato kamera dovoluje nahrávat pouze omezené pohledy vzhledem k nemožnosti umístit a nasměrovat celý notebook do všech potřebných poloh. Tato kamera ale může sloužit jako video záznam činností prováděných řidičem během zkoušky za předpokladu umístění notebooku, například na sedadle spolujezdce.

Pro některé zkoušky jsou tato data nedostatečná, neboť pro komplexní analýzu jízdy musíme znát široké spektrum různých signálů. Mezi nejdůležitější signály zkoumání chování vozidla patří úhel natočení volantu, tlak v brzdovém systému, otáčky motoru, otáčky jednotlivých kol a mnoho dalších. Samozřejmě by bylo možné všechny tyto veličiny získat umístěním externích senzorů, jejichž aplikace by byla více či méně složitá. Například pro snímání úhlu natočení volantu by bylo nutné v blízkosti volantové tyče umístit úhlový snímač, který by byl s volantovou tyčí spojen řemenovým nebo ozubeným převodem. Toto řešení vyhovuje pro zkoušky daného

vozidla nebo určitého systému vozidla. Vyžaduje však poměrně složitou konstrukční úlohu pro montáž snímače a přenos dat, což omezuje možnost zkoušení a porovnávání více vozidel. Nutností je použití měřicí ústředny.



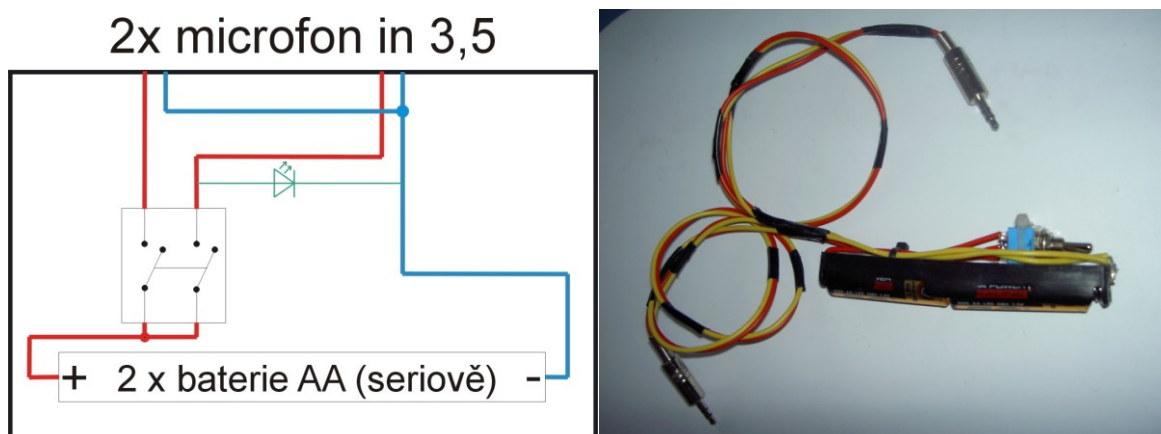
Obr. 3.3 Blokové schéma měřicího řetězce pro příjem dat z ŘJ vozu, gyroskopického snímače, GPS přijímače a několika webkamer

Jako další možnost se nabízí využití originálních senzorů, kterými dané vozidlo běžně disponuje. Drobný zásah do elektroinstalace vozu zajistí potřebný signál. Jedním z postupů může být vytvoření propojky mezi svorkovnicemi daného snímače a vozové kabeláže, které jsou běžně spojené. Pokud mezi tyto dvě svorkovnice vložíme vedení, které bude jednak přenášet elektrické signály mezi snímačem vozidla jako doposud, ale bude obsahovat i vedení žádaného signálu, který pravděpodobně zpracujeme v měřicí ústředně. Pokud není možnost využít měřicí ústředny nebo není vhodný či možný popsany zásah do elektroinstalace, nabízí se snímání potřebných dat přímo z určité řídicí jednotky vozidla pomocí OBD komunikačního adaptéru, který běžně slouží k diagnostice elektroniky vozidel.

V našem případě se jako nejdostupnější systém jevil produkt SuperVag, který nabízí komplexní profesionální diagnostický systém specializovaný pro vozy značek Škoda, Volkswagen, Audi, Seat, Peugeot a Citroën. Součástí zakoupeného softwaru je samozřejmě jeho licence a komunikační adaptér. Po připojení adaptéru do diagnostické zástrčky pracuje komunikace s notebookem přes USB port. Blokové schéma při měření snímačem Xsens MTi a současném snímání dat z některé řídicí jednotky motoru zobrazuje obr. 3.3. Po spuštění diagnostického programu a zahájení komunikace s danou řídicí jednotkou se nabízí všechny možné diagnostické funkce, jako například čtení a mazání paměti závad, kódování řídicí jednotky, funkce přizpůsobení, nastavení základních parametrů nebo čtení bloku naměřených hodnot. Poslední zmíněná funkce nás bude zajímat, protože umožňuje sledovat hodnoty všech snímačů, se kterými řídicí jednotka pracuje a také některé hodnoty, které má ŘJ již zpracované. Například řídicí jednotka motoru nabízí ke čtení hodnotu skutečného tlaku plnicího vzduchu pro přepínávané motory, ale i požadovanou hodnotu tlaku plnicího vzduchu, kterou ŘJ určila podle požadavku řidiče (poloha plynového pedálu) a dalších okolností (bohatost směsi, nasávané množství vzduchu a další.) Například z ŘJ posilovače řízení může být přínosný signál z úhlu natočení volantu, točivém momentu působícím na volant, rychlost vozidla, otáčky motoru. ŘJ brzdového systému ABS nabízí hodnoty otáček každého kola, rychlost vozidla, tlak v brzdovém systému, stav činnosti jednotlivých ventilů ABS a u vozidel se systémem ESP i hodnoty podélného a příčného zrychlení, stáčivé rychlosti a stavu regulace ESP. Bohužel tato ŘJ po překročení rychlosti vozidla 20 km/h automaticky odpojí komunikaci z důvodu bezpečnosti. Nevýhoda tohoto způsobu získávání užitečných hodnot spočívá v rychlosti přenosu dat protokolem OBD. I tato funkce umožňuje záznam naměřených hodnot do paměti a následný export například do formátu *.xml, který umožňuje elegantní sloučení dat z různých měřicích systémů a další zpracování.

Speciální automobily, které nejsou určeny pro běžný provoz, také umožňují určitý sběr dat, která slouží pro následnou analýzu. Například soutěžní vozidlo Škoda Octavia WRC, které se také stalo objektem zkoumání této diplomové práce, disponuje elektronickou řídicí jednotkou EFI. Při spojení osobního počítače s vozidlem pomocí softwaru a komunikačního kabelu od téhož výrobce, může obsluha číst velké množství on-line hodnot. ŘJ EFI Euro 12 obsahuje vestavěný

vysokorychlostní 64 kanálový dataloger s pamětí 8 MB, který se využívá k ukládání dat během soutěžní jízdy a k následné analýze během servisních zastávek. Pro analýzu jízdy s využitím gyroskopického snímače mohou být užitečné i hodnoty získané přečtením datalogeru. Data ukládaná v datalogeru si předdefinuje uživatel, může si vybrat, které hodnoty si přeje zaznamenávat a nastavit vzorkovací frekvenci pro každý signál zvlášť v rozmezí 1 až 100 Hz. Po stažení dat následuje v programu RaceCup samotná analýza pomocí vykreslení do grafu a nebo export dat do formátu *.xsl a spojení s daty z gyroskopického snímače.



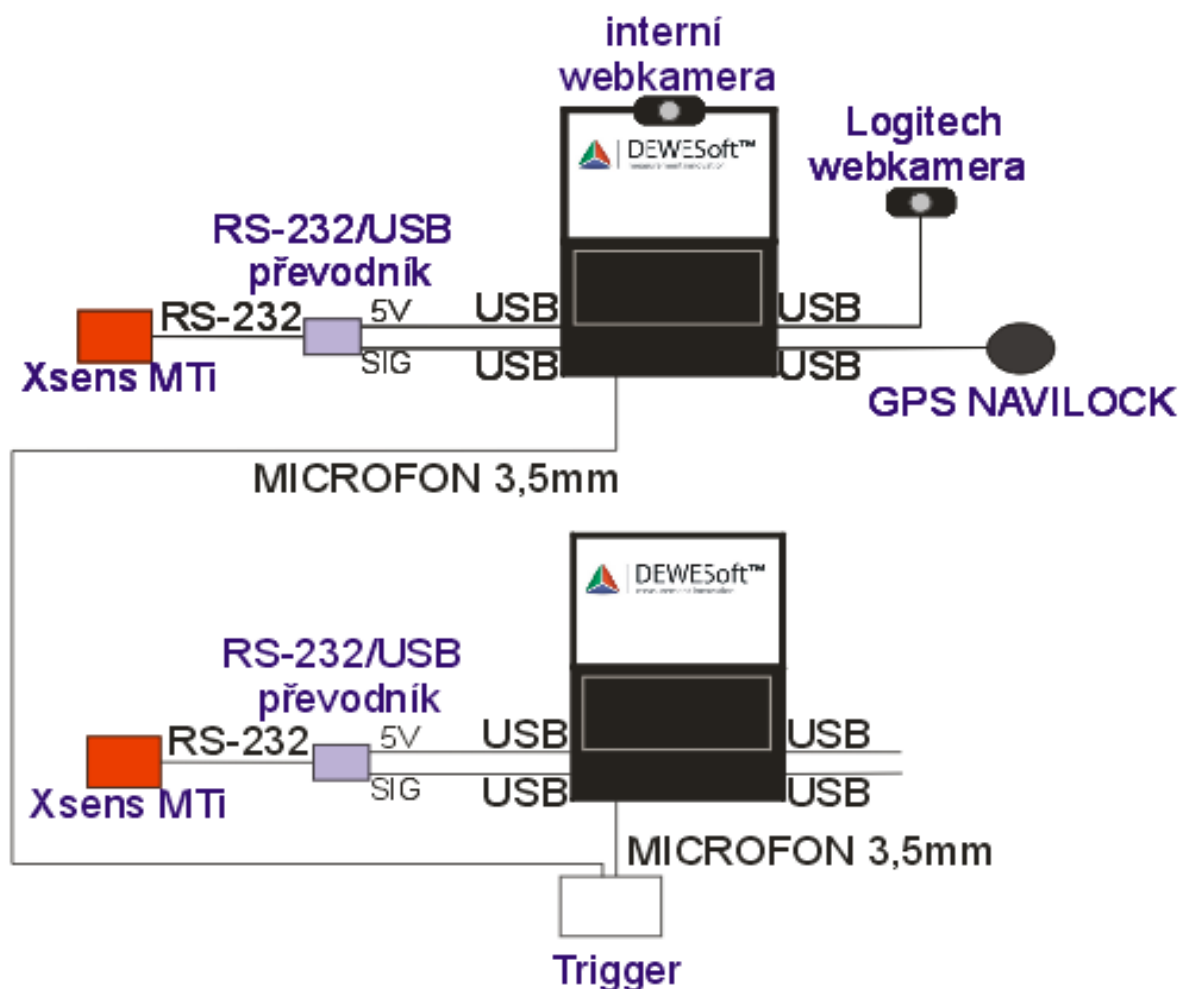
Obr. 3.4 Schéma (vlevo) a fotografie (vpravo) triggeru pro současné spouštění nahrávání na více noteboocích

Pokud počet potřebných USB portů k připojení všech senzorů převyšuje skutečný počet USB portů, kterým notebook disponuje (obvykle 4), pak musíme pro měření použít další notebook, který disponuje další USB porty. Pokud chceme v obou noteboocích ukládat data z kamery, GPS přijímače nebo senzoru Xsens MTi, musíme mít v obou noteboocích nainstalovaný software DEWESoft. Jediná komplikace může nastat v případě časové prodlevy mezi začátkem nahrávání na jednom nebo druhém počítači. K zajištění naprosto stejného okamžiku spuštění ukládání dat v obou počítačích slouží speciální trigger (obr. 3.4). Konstrukce tohoto triggeru vznikla na základě mého návrhu při tvorbě této diplomové práce a samotné zhotovení bylo provedeno vlastní výrobou.

Princip současného spouštění vychází z funkce programu DEWESoft umožňující spouštění nahrávání na základě předem definovatelných prahových hodnot na různých vstupních kanálech. Systém triggerování navrhnutý na základě této diplomové práce využívá spouštění při překročení určitého napětí na vstupu

pro připojení mikrofону. Tato varianta využívá externího zdroje elektrické energie, konkrétně sériově zapojených baterií typu AA, které při tomto zapojení disponují napětím 3 V (dvakrát 1,5V). Pokud přivedeme přes spouštěcí vypínač na konektor typu Jack 3,5 - stereo právě napětí 3 V, nastane při vhodném nastavení v programu DEWEsoft začátek nahrávání. Taktéž je možné nastavit ukončení nahrávání po vypnutí spouštěcího vypínače. Z čistě informačního důvodu se v blízkosti spínače nahází LED dioda signalizující nahrávání.

Další možnou variantou triggeru by bylo podobné zařízení, které by místo externího zdroje ovládacího napětí využívalo napětí (5 V), které běžně slouží k napájení mikrofonu. Při spojení vedení vstupního napětí se signálovým vedením nastane prakticky zkrat, ale i tímto způsobem by bylo triggerování možné. Elegantnějším způsobem by bylo vložit mezi napájecí a signálové vedení elektrický odpor na místo přímého spojení, tím bychom mohli dosáhnout ovládacího napětí na signálovém vedení, například 4 V.



Obr. 3.5 Blokové schéma měřicího řetězce při využití dvou gyroskopických snímačů

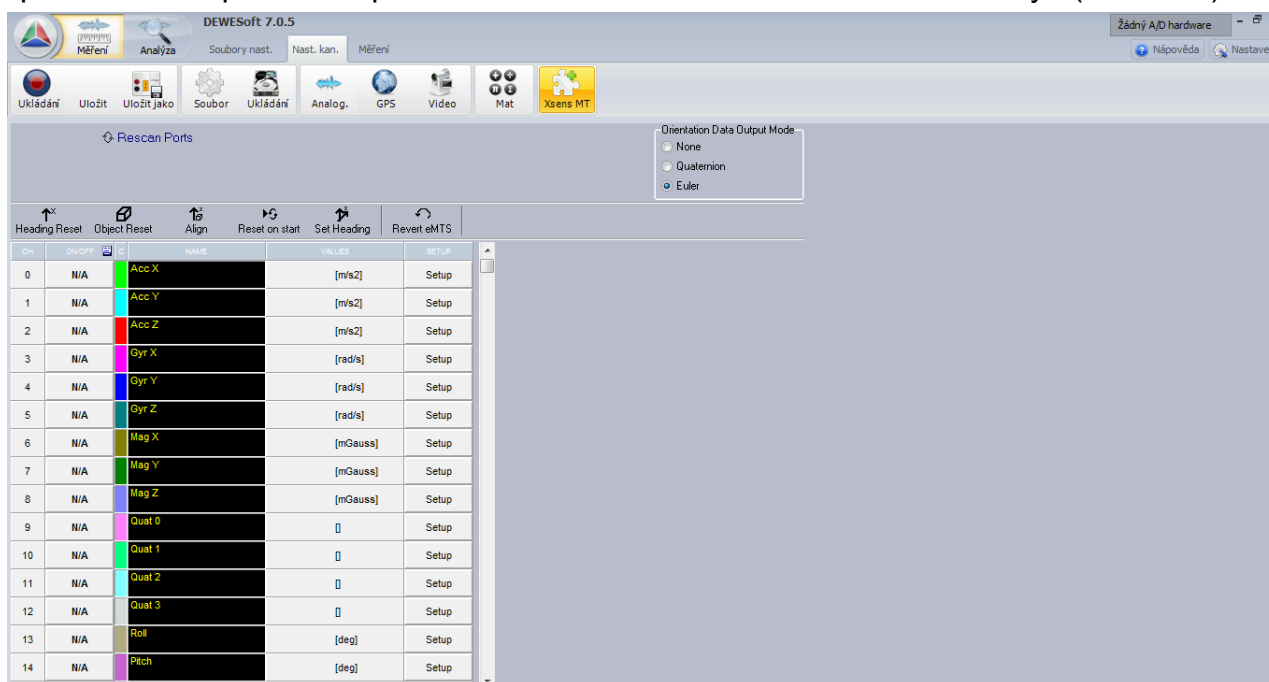
3.2 PROGRAM DEWESOFT

Vzhledem k rozšířenosti a propracovanosti výpočetní techniky je při současném tlaku na časovou náročnost vývoje nových produktů prakticky nemožné pracovat bez vhodných programových nástrojů. Jedním z nejsofistikovanějších softwarů pro zkušební měření se jeví produkt slovinského vývojového týmu: program DEWESoft.

Právě tento program pořídila Katedra vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci pro sběr a zpracování dat při analýze jízdy vozidel s využitím gyroskopického snímače. Konkrétně se jedná o verzi DEWESoft 7.0.5. Sofistikovanost, univerzálnost a velké možnosti zobrazování, ukládání a zpracování měřených dat spočívá v širokém spektru různých forem vstupních signálů. Tento program přijímá, synchronizuje a zpracovává nejen analogové a digitální signály, ale i signály ze sběrnice CAN-bus, což se jeví jako velká výhoda při analýze jízdy vozidlem. Program rovněž umožňuje příjem dat z GPS přijímače a on-line nahrávání videa.

3.2.1 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ

Program se člení na dvě části, nazvané "Měření" a "Analýza". Uživatel si volí požadované pracovní prostředí v levém horním rohu obrazovky (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Základní obrazovka Dewesoft 7.0.5

Část měření slouží k nastavení senzorů a všech dalších vstupních veličin, k vytvoření matematických a fyzikálních funkcí, k tvorbě uživatelského okna, ve kterém může obsluha sledovat aktuální hodnoty a samozřejmě i k ukládání dat. Část "Analýza" slouží ke zpracování, přehrávání a dalšímu zpracování výsledků měření, jak popisuje kapitola 3.2.2.

V sekci měření, pod záložkou nastavení kanálů uživatel zjistí všechny přijímané hodnoty programem, ze kterých si vybere veličiny, které chce pozorovat a zaznamenávat. Pro tyto hodnoty navíc může nastavit různé matematické, statistické a fyzikální funkce, filtrování a frekvenční analýzy. V této sekci se také definují podmínky spouštění ukládání dat pomocí triggeru.

Záložka "Měření" umožňuje uživateli vytvořit si vhodné okno pro pozorování měřených veličin a v něm následně sledovat aktuální hodnoty. Nabídka obsahuje jak digitální (číselná hodnota), tak i analogové (ručičkový a sloupcový měřič) zobrazovací nástroje. Dále orbitální mapu (2D graf), 3D graf, indikační kontrolku, okno se záběry z externí kamery, promítání trajektorie a současné polohy do předem definované a kalibrované mapy. Doplnkem jsou možnosti umístění obrázků, textu a čar do tohoto okna. Nastavení tohoto okna je nutné uložit pro možnost použití i při opětovném spuštění programu. Uživatel může mít uloženo i několik takovýchto nastavení pro různé typy a účely měření. Ukázku takového okna představuje obr. 3.7 nebo 4.23.

3.2.2 MOŽNOSTI VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Program Dewesoft umožňuje velké množství zpracování, analýzy a dodatečných



Obr. 3.7 Obrazovka Dewesoft 7.0.5 pro analýzu dat

úprav naměřených dat. Program nabízí přehrávání naměřených dat přímo v obrazovce obdobné té, při které můžeme data sledovat on-line při nahrávání. Data s naměřenými hodnotami může uživatel otevřít v jakémkoli okně nastavení a nebo přímo v sekci analýzy toto okno upravovat. Pro výpočetní účely se nabízí export dat do formátu, ve kterém proběhne další zpracování. Například formát pro programy MS Excel, Matlab, textový soubor a více jak desítka dalších.

4 VLASTNÍ MĚŘENÍ

4.1 ZJIŠTĚNÍ POLOHY A VÝŠKY TĚŽIŠTĚ



Poloha a výška těžiště se vypočítá na základě zatížení jednotlivých náprav, které se musí nejprve změřit. Použil jsem k tomu váhy, které umožňují nezávislé zatížení jednotlivých kol automobilu. Před vážením je nutné připravit

Obr. 4.1 Měření zatížení jednotlivých kol při přizvednutí PN

vozidlo do provozních podmínek. Předepsaný tlak vzduchu v pneumatikách je samozřejmostí pro každé podobné měření.

Z naměřených hodnot zatížení jednotlivých kol se pomocí rovnic 4.1 až 4.3 vypočítají vzdálenosti těžiště od jednotlivých náprav.

Výška těžiště se vypočítá dle rovnic 4.4 až 4.8, k možnosti tohoto

přizvednutí nápravy [mm]	NAMĚŘENÉ HODNOTY [kg]		celkové zatížení náprav [kg]
	Λ		
	406,0	415,0	821,0
	229,0	203,0	432,0
			Σ 1253,0
100	Λ		
	400,5	412,5	813,0
	232,0	208,0	440,0
			Σ 1253,0

Tab. 4.1 Naměřené hodnoty při zjišťování polohy a výšky těžiště u vozidla Škoda Fabia RS

PARAMETRY MĚŘENÍ			
		Fabia RS	Octavia WRC
Množství paliva	[l]	24,0	36,0
Náplň ostřikovačů	[l]	2,0	0,8
Rezervní kola		1	1
Nářadí	klíč na kola	nůžkový zvedák	hydraulický zvedák
Rozvor náprav	[mm]	2462,0	2490,0
Poloměr kola	[mm]	287,5	312,8
Vzdálenost těžiště od PN	[mm]	848,8	1080,0
Vzdálenost těžiště od ZN	[mm]	1613,2	1410,0
Poměr rozložení hmotnosti	%	65,5	56,6
Sklon při podložení nápravy	[rad]	0,04	0,08
Sklon při podložení nápravy	[°]	2,33	4,61
Výška těžiště	[mm]	674,2	588,4

Tab. 4.2 Parametry měření a vypočtené hodnoty pro zjišťování polohy a výšky těžiště vozů Škoda Fabia RS a Škoda Octavia WRC

výpočtu je nutné změřit zatížení jednotlivých náprav. Jedna musí být podložena. Následující výpočet se týká zjištění polohy a výšky těžiště pro vozidlo Škoda Fabia RS. Naměřená data zatížení zobrazuje tabulka 4.1 a vypočtené hodnoty, včetně vstupních parametrů tabulka 4.2. Za výsledek tedy považujeme zjištění, že těžiště vozu se nachází ve vzdálenosti 848,9 mm od osy přední nápravy, 1613,2 mm od osy zadní nápravy a ve výšce 674,2 mm. Díky tomuto měření dále získáme hmotnost vozidla, která se využívá při většině teoretických výpočtů dynamiky jízdy.

Pro posouzení rozdílu sériového a speciálního soutěžního vozu v oblasti pozice těžiště a rozvážení vozu uvádím v tabulce 4.2 vypočtené hodnoty při zjišťování pozice těžiště i u soutěžního vozu Škoda Octavia WRC. Evidentní rozdíly patrné z tabulky 4.2 dokazují, že stavba soutěžního speciálu se snaží o co nejnižší polohu těžiště. Další parametr popisuje výhody podvozku soutěžního speciálu, konkrétně poměr rozložení hmotnosti 56,6% na přední nápravu, což se blíží ideálnímu rozložení hmotnosti mezi nápravy. Oproti tomu 65,5% v podání Fabie RS je typickou nevýhodou vozidel s přední hnanou nápravou a motorem umístěným vpředu. V tomto případě se navíc jedná o poměrně těžký turbo dieselový motor s litinovým

blokem válců. Z toho plyne nedotáčivé chování, klasické pro vozidla s podobnou koncepcí. Vhodná vyváženost Octavie WRC způsobuje nejen koncepcie pohonu (pohon všech kol), ale i konstrukce zaměřená na umístění co nejvíce dílů v zadní části vozu a co nejblíže vozovce.

Momentová rovnováha:

$$m * l_p = m_z * l \quad (4.1).$$

Vzdálenost těžiště od přední nápravy:

$$l_p = \frac{m_z}{m} * l = \frac{432}{1253} * 2462 = 848,8 \text{ mm} \quad (4.2),$$

Vzdálenost těžiště od zadní nápravy:

$$l_z = l - l_p = 2462 - 848,8 = 1613,2 \text{ mm} \quad (4.3),$$

Rozložení hmotnosti:

$$x = \frac{l_z}{l} * 100 = \frac{1613,2}{2462} * 100 = 65,5\% \quad (4.4).$$

Odvození vzorce pro sklon automobilu s přizvednutou přední nápravou:

$$\sin \beta = \frac{h}{l} \quad (4.5),$$

$$\beta = \arcsin \frac{h}{l}$$

Po dosazení do 5), sklon automobilu při podložení přední nápravy:

$$\beta = \arcsin \frac{100}{2462} = 2,33^\circ \quad (4.6).$$

Odvození vzorce pro výpočet výšky těžiště z momentové rovnice skloněného automobilu:

$$m_z' * l * \cos \beta - m * [l_p * \cos \beta + (h_t - r_s) * \sin \beta] = 0$$

$$m_z' * l * \cos \beta - m * l_p * \cos \beta - h_t * m * \sin \beta + r_s * m * \sin \beta = 0$$

$$h_t = \frac{r_s * m * \sin \beta - m_z' * l * \cos \beta - m * l_p * \cos \beta}{m * \sin \beta} \quad (4.7),$$

$$h_t = \frac{m_z' * l - m * l_p}{m * \tan \beta} + r_s$$

Po dosazení do 7), výška těžiště:

$$h_t = \frac{440 * 2462 - 1253 * 848,8}{1253 * \tan 2,33^\circ} + 287,54 = 674,22 \text{ mm} \quad (4.8).$$

4.2 UPEVNĚNÍ GS DO VOZIDLA

Základní otázka v přípravě měření pomocí senzoru Xsens Gyro MTi spočívá v zajištění optimálního upevnění snímače do vozidla. Vzhledem k různým možnostem upevnění a objasnění jejich vlivů na výsledky měření, byly provedeny srovnávací měření k posouzení rozdílů mezi naměřenými daty a systémy spojení základní desky snímače a

karoserie (nejen) vozidla.

Pro posouzení vlivu upevnění byl zvolen postup analýzy jízdy vozidla dvěma identickými snímači.

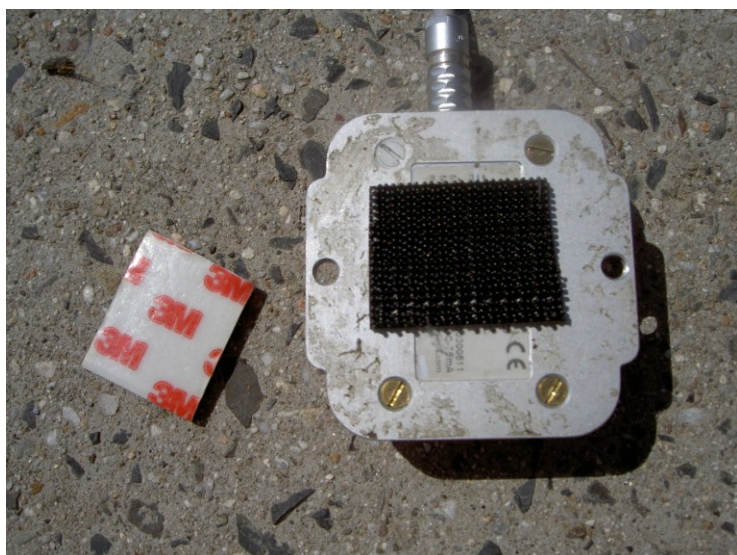
Jedním referenčním, který musí být během všech porovnávacích měření pevně a především stále stejně spojen s karoserií vozidla. K tomuto účelu slouží držák vyrobený speciálně pro tuto diplomovou práci z lehké



Obr. 4.2 Aplikace dvou senzorů Xsens Gyro MTi do vozidla Škoda Fabia

slitiny. Tento referenční senzor byl zabudován v místě uchycení vnitřní kolejnice sedačky řidiče pomocí šroubu, který běžně slouží ke spojení kolejnice sedačky s karoserií. Výhoda tohoto uchycení spočívá především v pevném a tuhém spojení s karoserií, neboť tato oblast bývá z důvodu bezpečnosti posádky výrazně vyztužena. Dalšími výhodami je pak umístění v blízkosti těžiště vozu a snadná přístupnost a montáž. Abychom mohli posuzovat čistě jen vliv umístění druhého senzoru, byl aplikován v těsné blízkosti referenčního senzoru, jak znázorňuje obrázek 4.2. Pro zajištění opakovatelnosti podmínek měření byla jednotlivá porovnávání prováděna měřeními při průjezdu vyhýbacího manévru dle normy ISO/TR 3888, který blíže popisuje kapitola 4.4.1. K této analýze bylo použito vozidlo Škoda Fabia 1,9 TDI a byla zvolena průjezdová rychlost $55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Ještě před prvním porovnávacím měřením byla provedena kontrola kalibrace, funkčnosti

a přesnosti obou senzorů tak, že proběhlo měření, při kterém byly oba senzory přišroubovány těsně vedle sebe na společném držáku. Výsledky této kontroly zobrazují obrázky 4.5 a 4.6, v jejichž horních částech jsou vykresleny časové průběhy zrychlení obou snímačů ve všech osách (obr 4.5) a průběhy stáčivých rychlostí kolem všech os (obr 4.6). Ve spodních částech obrázku se nacházejí časové průběhy rozdílu naměřených dat mezi oběma snímači. Z těchto průběhů vyplývá, že výsledné hodnoty z obou senzorů se téměř neliší. Rozdíl $0,007 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ při měření stáčivých rychlostí a $0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ v rámci měření zrychlení potvrzují tolerovanou odchylku vzniklou pravděpodobně při úpravě naměřených dat, která bylo nutné patřičně zaokrouhlit. Díky tomuto zjištění mělo smysl pokračovat v dalším měření a posuzování různých uchycení senzorů.



Obr. 4.3 Připevnění senzoru pomocí suchého zipu

První variantou pro posouzení vlivu uchycení snímače se stalo použití samolepicího suchého zipu Dual Lock od společnosti 3M. Tato varianta vyniká jednoduchostí a rychlostí montáže, není omezena nutností použít náradí, a jak vyplývá z obrázků 4.7 a 4.8, výsledné hodnoty zrychlení

a stáčivých rychlostí se oproti připevnění šrouby prakticky neliší. Maximální hodnota odchylky zrychlení se zvýšila pouze o $0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a stáčivé rychlosti o $0,002 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

Další možnost spojení senzoru s karoserií vozidla, která byla zkoušena, je použití oboustranné pěnové pásky od výrobce NITTO. Přednost použití měla spočívat v jistém útlumu špičkových hodnot zrychlení a stáčivých rychlostí. Jak je patrné z obrázků 4.9 a 4.10, tento předpoklad se vyplnil pouze částečně, když senzor uchycený na pružné pásce tlumí pouze výrazné špičky zrychlení a to především ve svislém směru (osa z). Avšak výraznější vyhlazení výsledných křivek nenastalo, což může být jednak zapříčiněno relativně vysokou tuhostí pěnové pásky v porovnání s velmi nízkou hmotností senzoru. Nejen, že se maximální odchylka

naměřeného zrychlení zvýšila až na $0,23 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, ale časové průběhy odchylek kmitají po celou dobu testu mezi poměrně vysokými kladnými a zápornými hodnotami blížícími se k $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Tento efekt pravděpodobně způsobuje tlumení akceleračních sil pěnovou páskou.

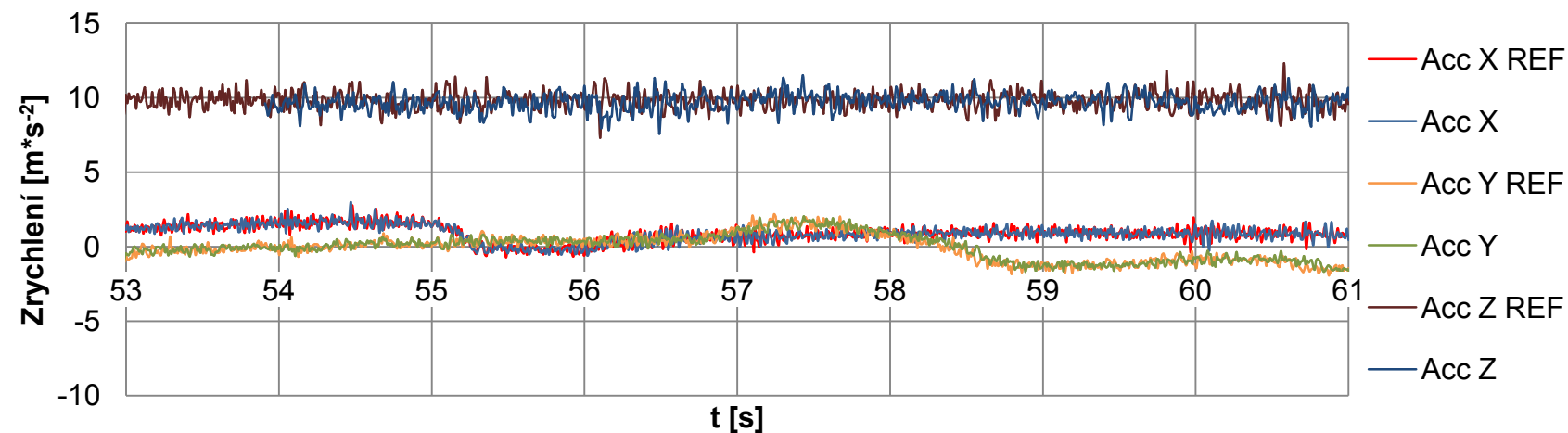


Obr. 4.4 Připevnění senzoru pomocí oboustranně lepicí pěnové pásce

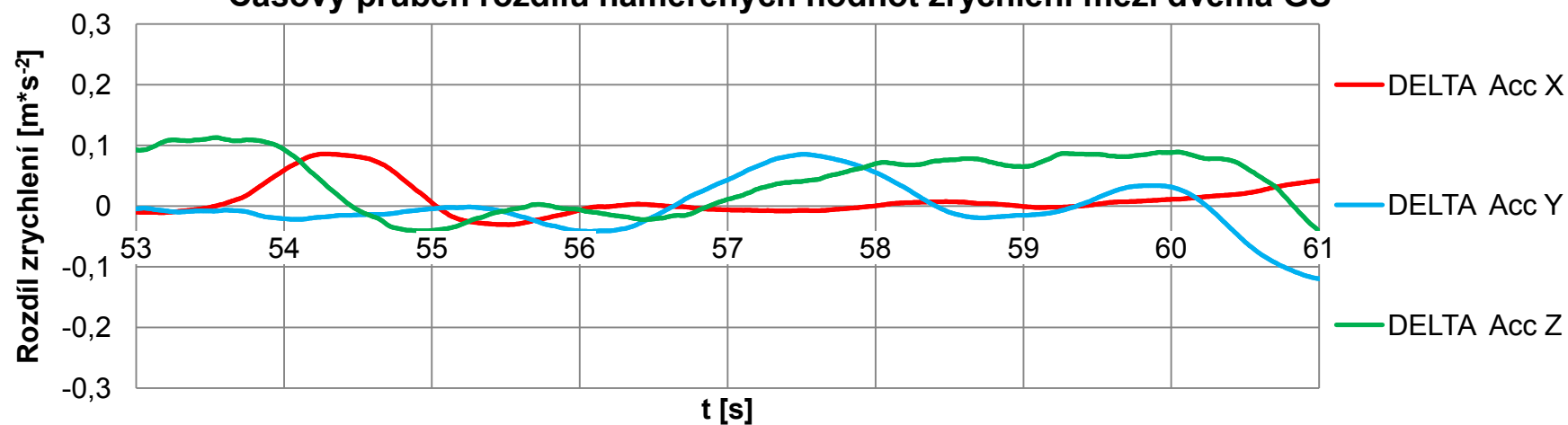
Největší rozdíl naměřených stáčivých rychlostí se oproti připevnění suchým zipem nezvýšil. I přes tyto mírně zvýšené odchylky mezi pevným uchycením a použitím pěnové pásky by výsledky pro běžnou analýzu jízdy vyhovovaly. Avšak největší nevýhodou se jeví možnost pouze

jednoho použití, neboť při demontáži takto uchyceného senzoru se pěnová páska poškodí. Oproti tomu se jako nejvhodnější systém uchycení senzoru jeví použití samolepicího suchého zipu Dual Lock, který dosahuje srovnatelných výsledků s přišroubovaným senzorem při snadné a rychlé montáži na velké množství povrchů.

Porovnání zrychlení naměřených referenčním snímačem a shodně upevněným snímačem umístěným v jeho blízkosti

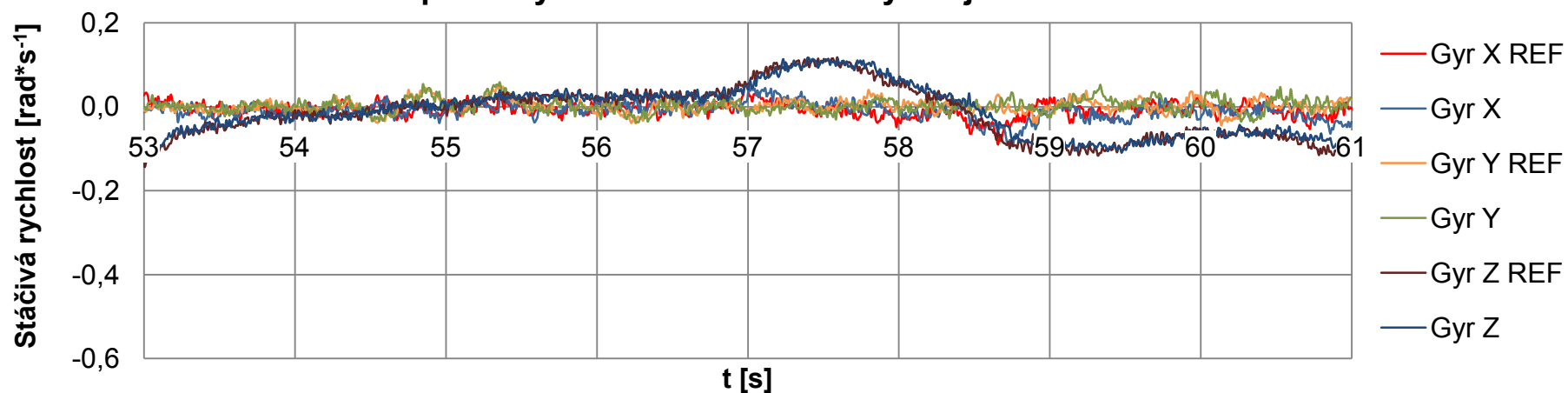


Časový průběh rozdílu naměřených hodnot zrychlení mezi dvěma GS

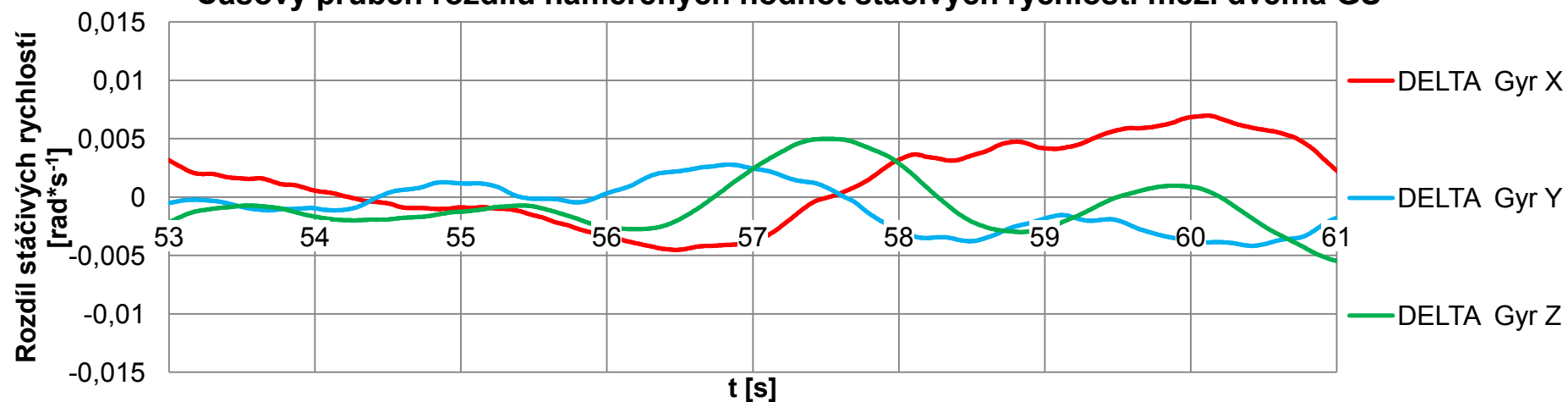


Obr. 4.5 Porovnání naměřených zrychlení pomocí GS umístěných v těsné blízkosti

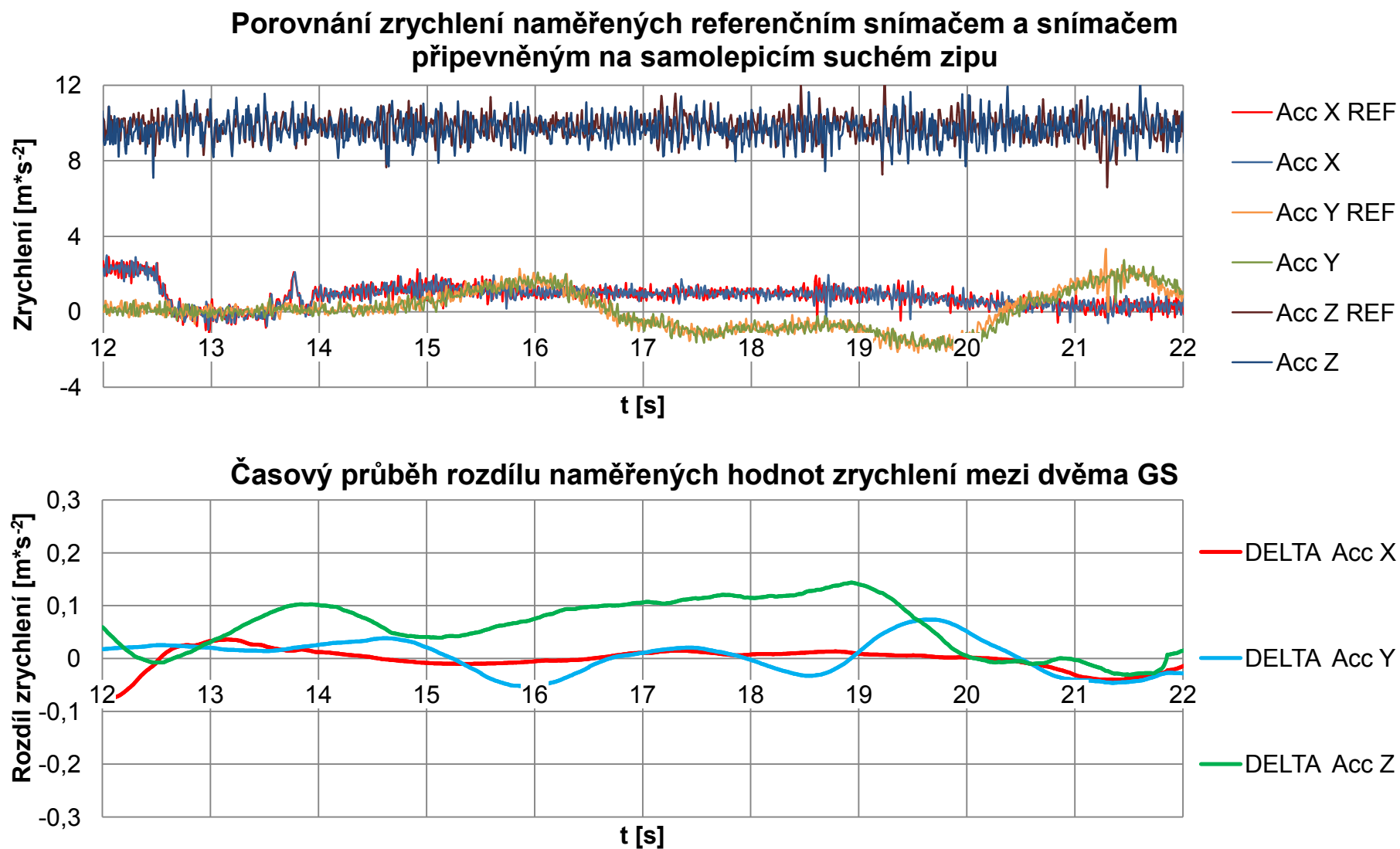
Porovnání stáčivých rychlostí naměřených referenčním snímačem a shodně upevněným snímačem umístěným v jeho blízkosti



Časový průběh rozdílu naměřených hodnot stáčivých rychlostí mezi dvěma GS

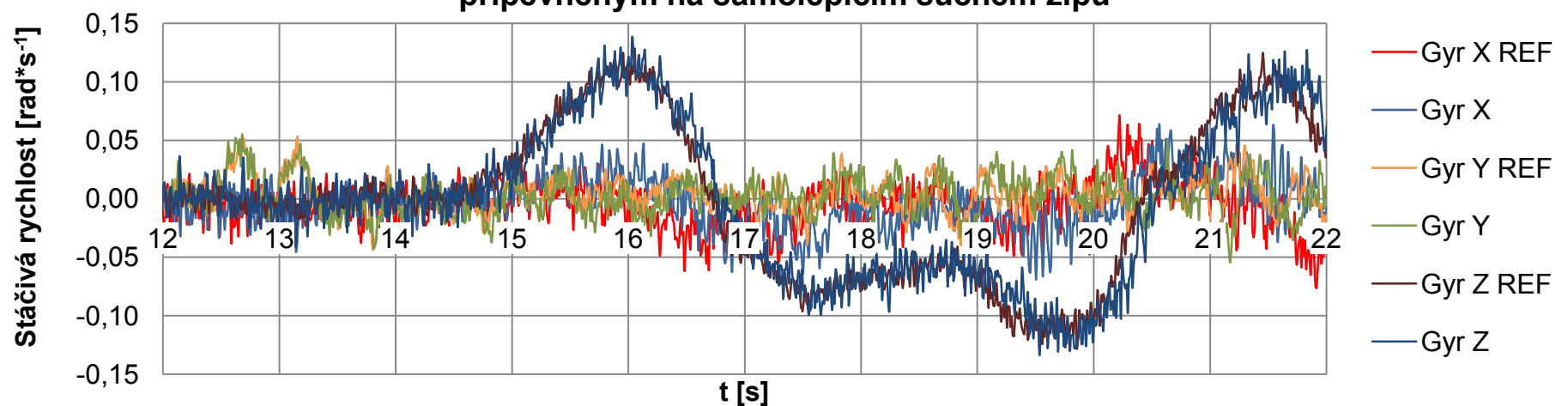


Obr. 4.6 Porovnání naměřených stáčivých rychlostí pomocí GS umístěných v těsné blízkosti

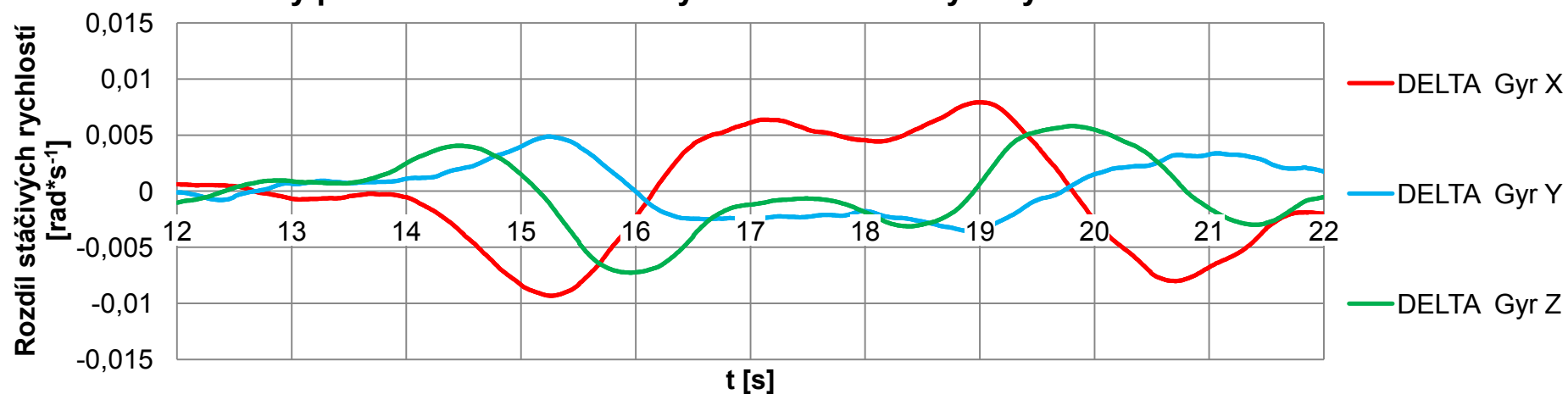


Obr. 4.7 Porovnání naměřených zrychlení pomocí GS umístěných v těsné blízkosti, z nichž je jeden uchycen pomocí suchého zipu

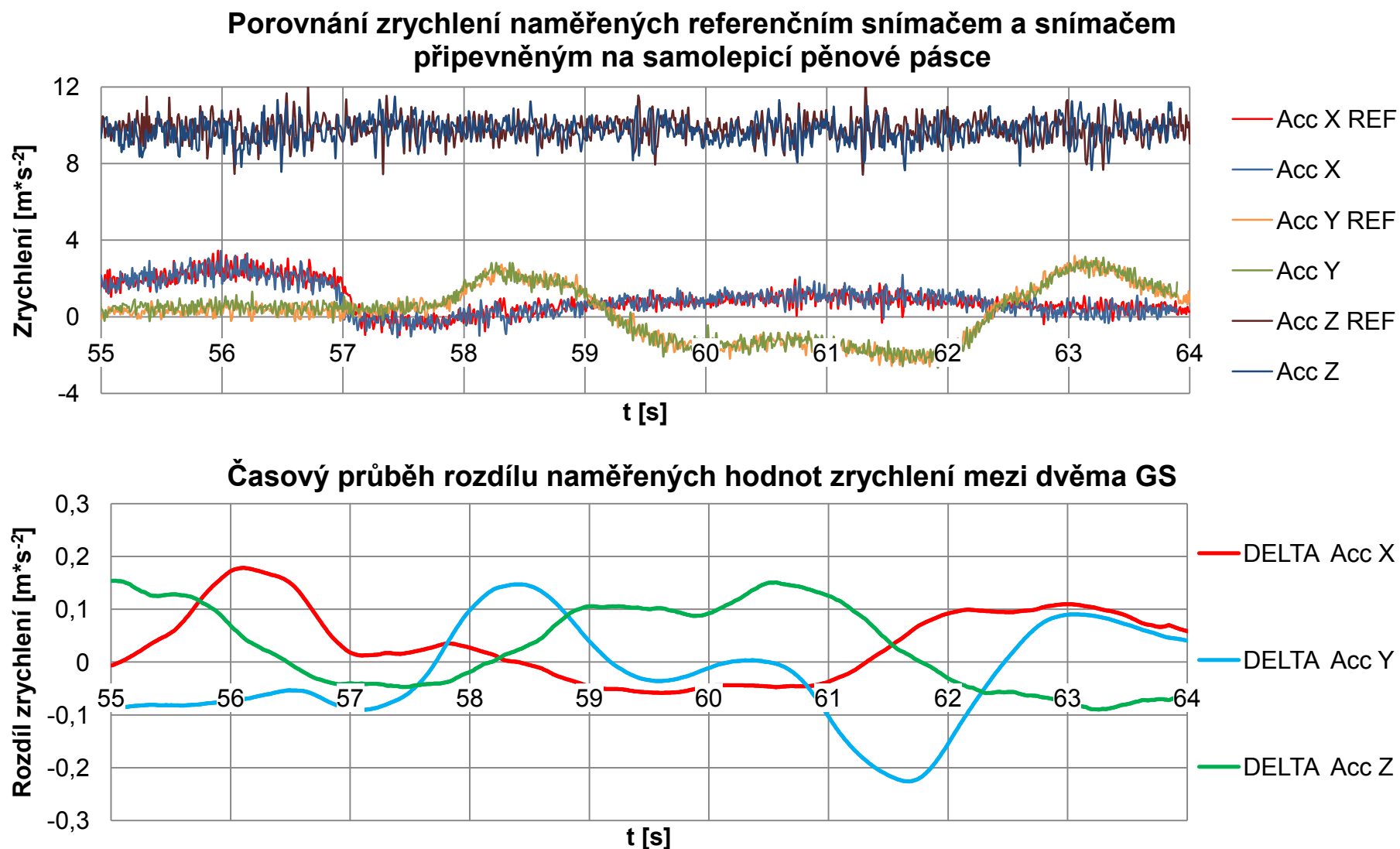
Porovnání stáčivých rychlostí naměřených referenčním snímačem a snímačem připevněným na samolepicím suchém zipu



Časový průběh rozdílu naměřených hodnot stáčivých rychlostí mezi dvěma GS

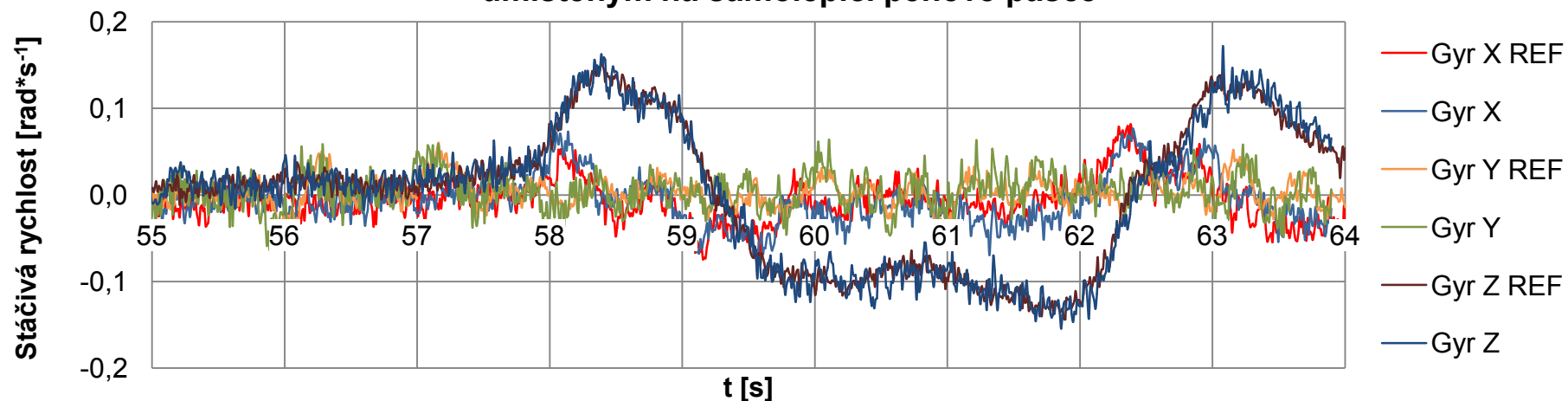


Obr. 4.8 Porovnání naměřených stáčivých rychlostí pomocí GS umístěných v těsné blízkosti, z nichž je jeden uchycen pomocí suchého zipu

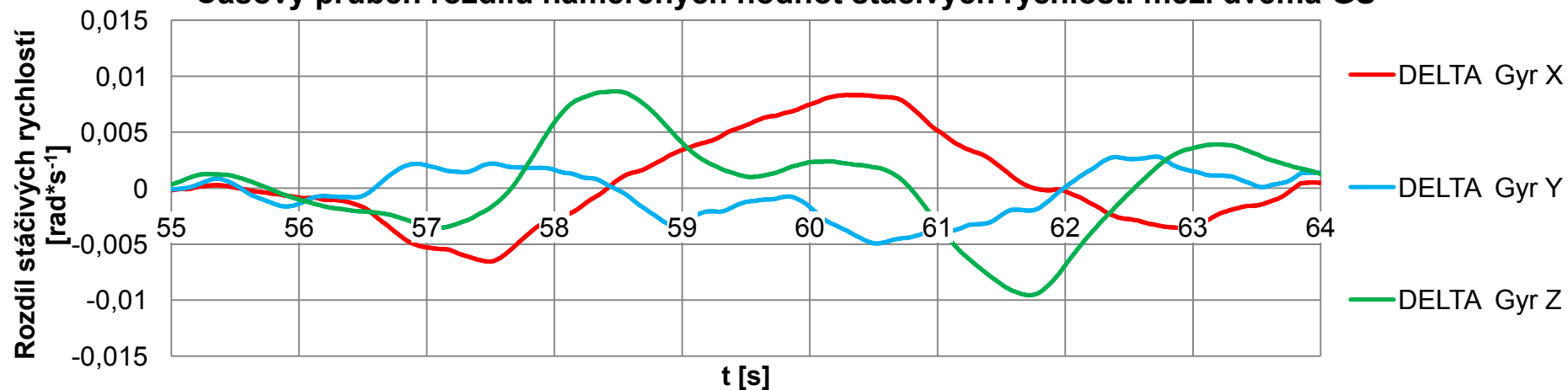


Obr. 4.9 Porovnání naměřených zrychlení pomocí GS umístěných v těsné blízkosti, z nichž je jeden uchycen pomocí pěnové pásky

Porovnání stáčivých rychlostí naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným na samolepící pěnové pásce



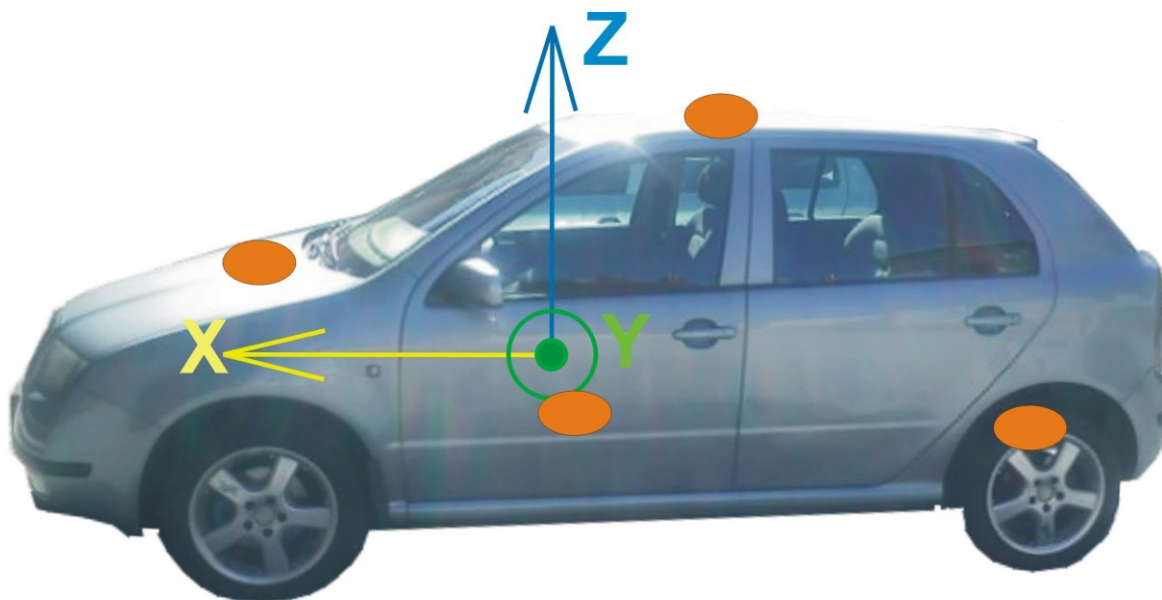
Časový průběh rozdílu naměřených hodnot stáčivých rychlostí mezi dvěma GS



Obr. 4.10 Porovnání naměřených stáčivých rychlostí pomocí GS umístěných v těsné blízkosti, z nichž je jeden uchycen pomocí pěnové pásy

4.3 UMÍSTĚNÍ GS VE VOZIDLE

Stejnou otázkou, jakou je způsob upevnění, se musíme zabývat i polohou umístění gyroskopického snímače. A stejně tak jako v případě porovnávání různých způsobů uchycení, byl ověřován vliv umístění senzoru Xsens Gyro MTi.



Obr. 4.11 Jednotlivé polohy umístění senzorů

Referenční senzor zůstal pevně uchycený u konzoly řidičovy sedačky, tedy poměrně blízko těžiště. Senzor, který měl za cíl porovnat vliv umístění, byl umístěn v úrovni přední nápravy, na střeše vozidla a v úrovni zadní nápravy. Tyto polohy byly vybrány

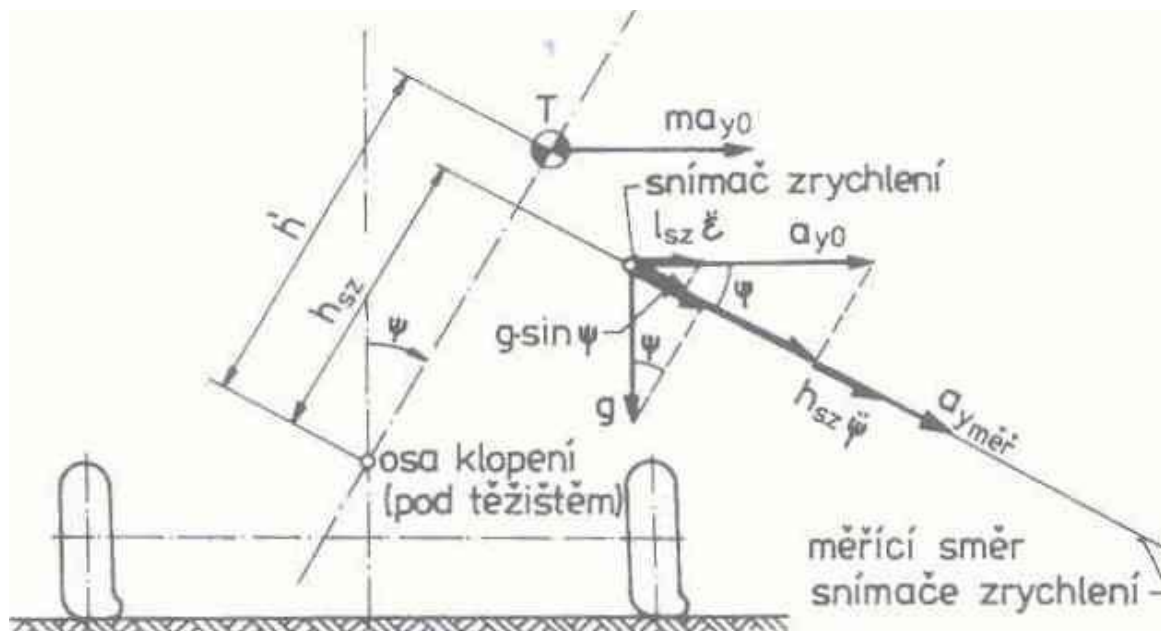
POZICE [mm]	x	y	z
Těžiště	0	0	0
Osa předních kol	848,8	-	-386,68
Osa zadních kol	-1613,2	-	-386,68
Referenční senzor	-11,2	140	-356,2
Senzor v úrovni PN	862,8	-750	120,78
Senzor v úrovni ZN	-1693,2	45	-468,22
Senzor na střeše	-607,2	0	755,78

Tab. 4.3 Souřadnice jednotlivých umístění GS

jako velmi vzdálené od těžiště (referenčního snímače). Případný vliv na polohu umístění by se měl tedy projevit. Všechny varianty umístění porovnávacího a referenčního senzoru znázorňuje obrázek 4.11 a přesné souřadnice tabulka 4.3. Jelikož za počátek souřadného systému

se obvykle používá těžiště vozidla, bylo nejprve nutné zjistit jeho polohu a výšku. Blíže se zjištěním polohy těžiště zabývá kapitola 4.1.

Při kolébání vozidla se mění náklon gyroskopického snímače a jeho souřadný systém. Během průjezdu předjížděcím manévrem se karoserie spolu se senzorem nakloní kolem podélné osy celkem o 6° , tedy přibližně o 3° na každou stranu. Tím vznikne nežádoucí efekt, který zkresluje naměřené hodnoty v příčném směru, což dokládá obrázek 4.12. Houpaní kolem příčné osy při tomto manévru dosahuje maximálních hodnoty $1,5^\circ$ stupně v kladném i záporném smyslu. Pro získání přesných výsledků je tedy zapotřebí provést korekční přepočty zohledňující náklon souřadného systému. Tento výpočet vychází ze schématu na obrázku 4.12 a definuje ho rovnice 4.9. [3]



Obr. 4.12 Schéma pro korekční přepočty bočního zrychlení [3]

$$a_Y = a_{Y0} - g * \sin \psi [m * s^{-2}] \quad (4.9)$$

Analogicky pro podélné zrychlení popisuje rovnice 4.2.

$$a_X = a_{X0} - g * \sin \nu [m * s^{-2}] \quad (4.10)$$

První porovnávání spočívalo v umístění GS v úrovni přední nápravy vozidla, v těsné blízkosti vrchního uložení teleskopické podpěry zavěšení pravého předního kola (obrázek 4.13). Pro upevnění v tomto místě bylo



Obr. 4.13 Umístění GS v úrovni přední nápravy

nejvýhodnější použít samolepicí suchý zip, který byl v minulé kapitole ověřen jako adekvátní náhrada pevného uchycení pomocí šroubového spojení a držáku, který by v tomto případě musel být vzhledem k omezenému prostoru uvnitř motorového prostoru velmi složitý. V tomto případě se výsledky (zobrazené grafy na obrázcích 4.16 a 4.17) měření mezi referenčním a porovnávaným senzorem téměř shodují. Maximální rozdíly mezi jednotlivými veličinami z referenčního a porovnávaného senzoru se pohybují ve stejných mezích jako v případě umístění senzorů těsně vedle sebe. To dokazuje, že postup přepočtu je správný.



Obr. 4.14 Umístění GS v úrovni zadní nápravy

Další porovnávací měření pak bylo provedeno naopak s porovnávacím senzorem umístěným v úrovni zadní nápravy. Uchycení senzoru bylo zajištěno pomocí držáku přišroubovaného k úchytu, běžně sloužícího k upevnění rezervního kola (obrázek

4.14.) I v tomto případě výsledky porovnávacího GS odpovídají naměřeným průběhům na referenčním snímači, což potvrzuje obrázek 4.18 a 4.19.



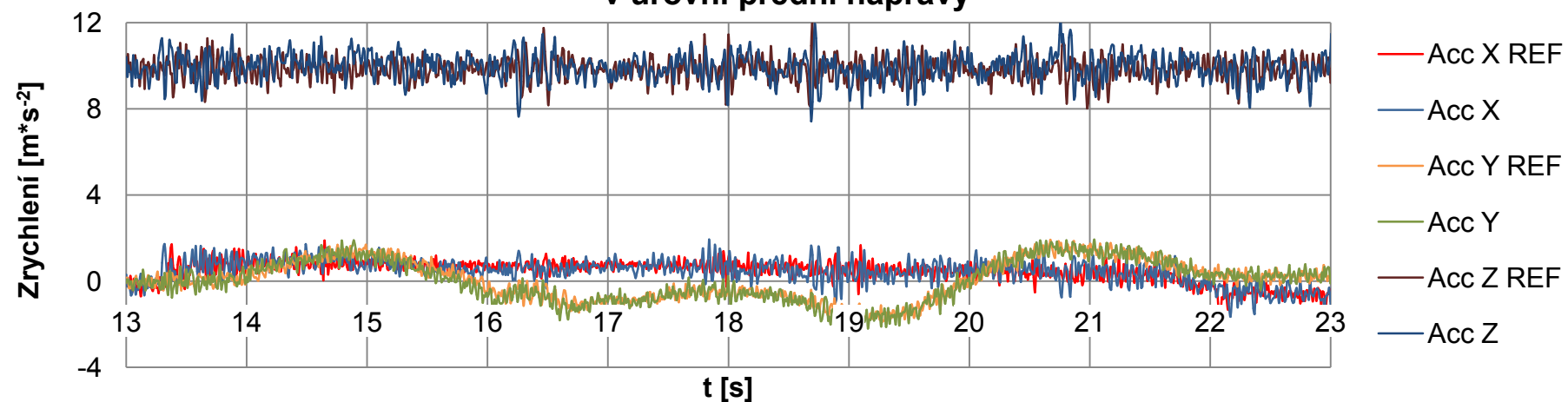
Obr. 4.15 Umístění GS na střeše vozidla

Posledním porovnávacím umístěním pro zjištění vlivu výsledných hodnot GS podle umístění snímače byl nejvyšší bod vozidla, tedy střecha. V tomto případě byl k uchycení opět využit samolepicí suchý zip, neboť ani jiná možnost

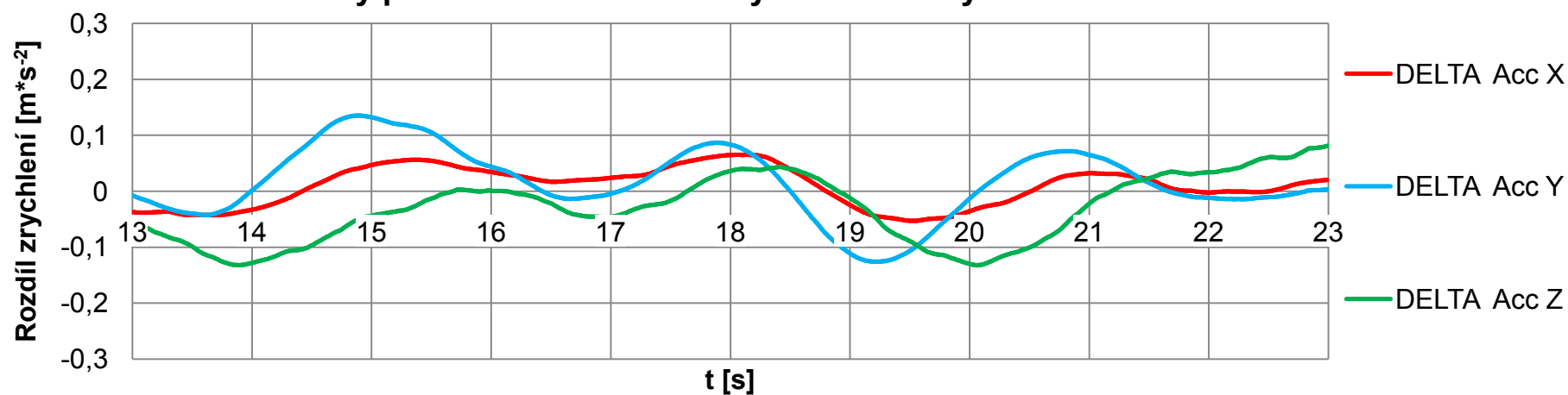
uchycení nebyla prakticky možná. Umístění znázorňuje obrázek 4.15, na němž je vidět i GPS přijímač upevněný pomocí vlastní magnetické základny. Senzor byl z bezpečnostních důvodů jištěn lepicí páskou. I při tomto pokusu se osvědčil korekční přepočet zrychlení, neboť i výsledky tohoto pokusu odpovídají hodnotám naměřeným u senzorů umístěných vedle sebe.

Toto potvrzuje, že pozice umístění GS nemá vliv na naměřené výsledky, za předpokladu provedení korekčního přepočtu, protože GS Xsens MTi měří i úhel naklání kolem všech os. Není tedy problém při zpracování dat například v programu Microsoft Excel, zadat funkci pro přepočet a tím získat přesné hodnoty.

Porovnání zrychlení naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným v úrovni přední nápravy

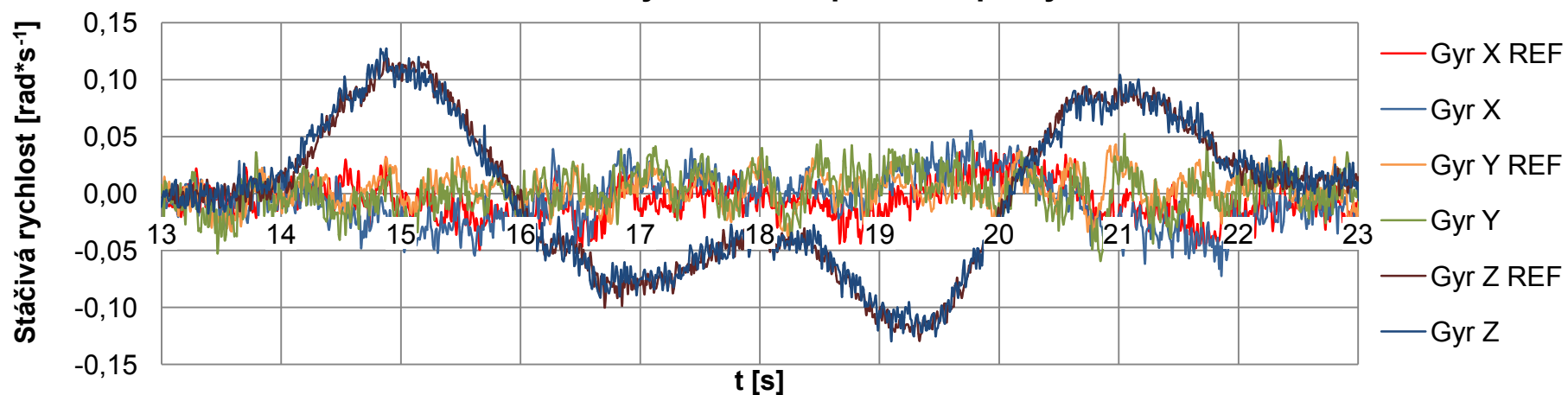


Časový průběh rozdílu naměřených hodnot zrychlení mezi dvěma GS

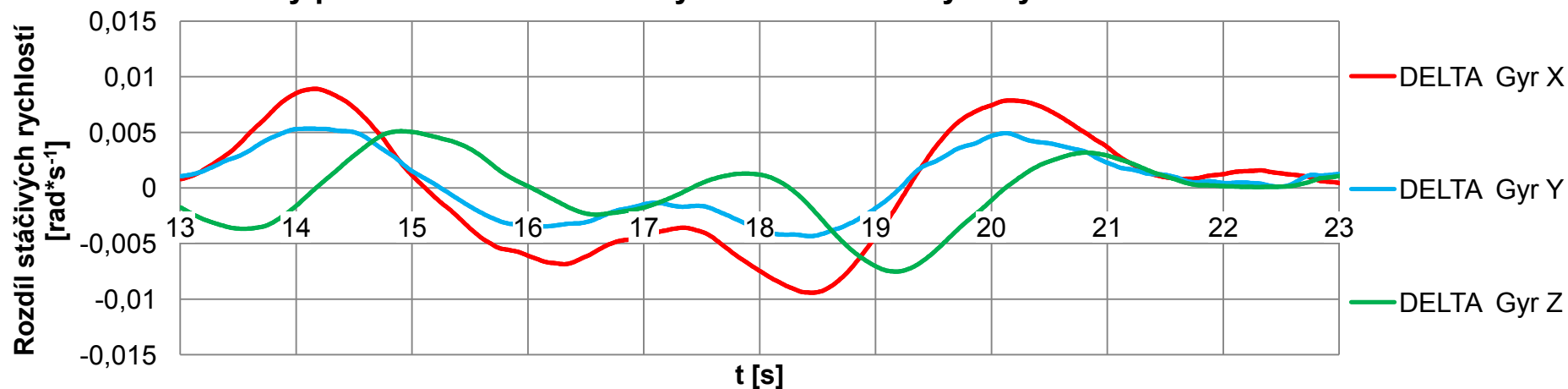


Obr. 4.16 Porovnání naměřených zrychlení pomocí GS, z nichž je jeden umístěn v úrovni přední nápravy

Porovnání stáčivých rychlostí naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným v úrovni přední nápravy

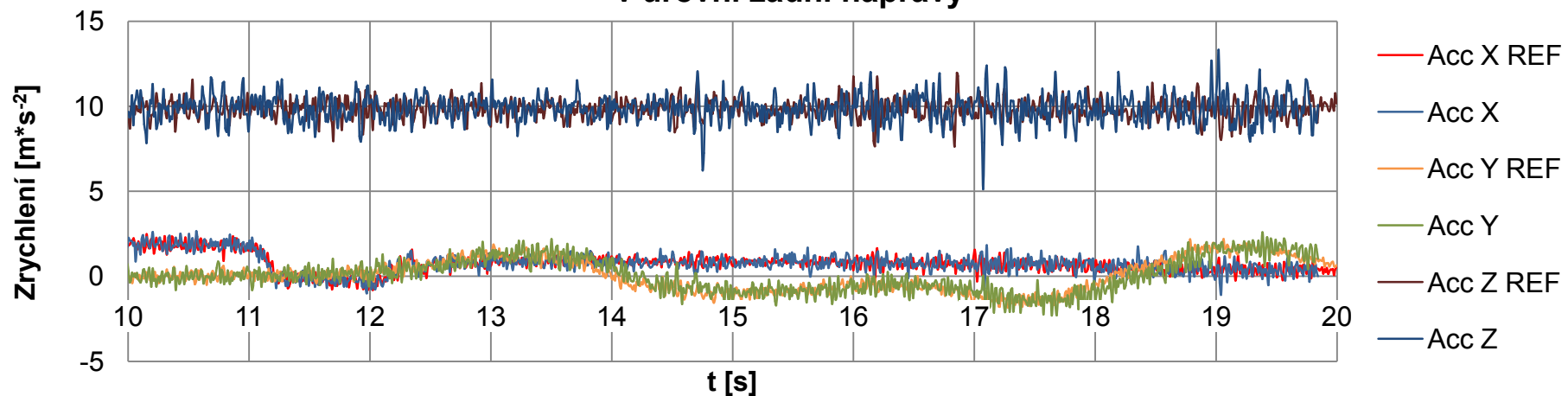


Časový průběh rozdílu naměřených hodnot stáčivých rychlostí mezi dvěma GS

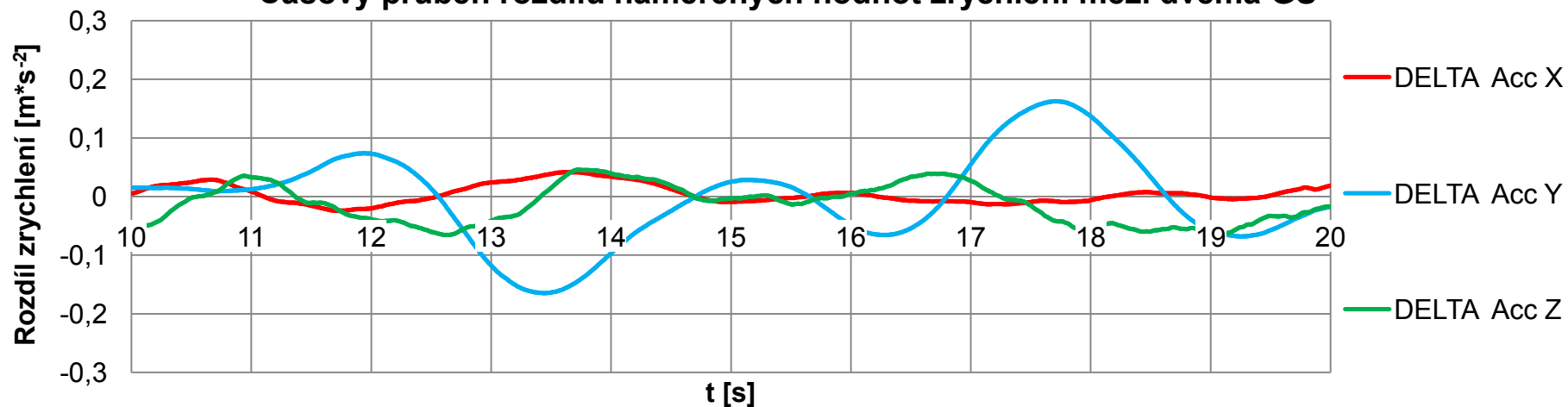


Obr. 4.17 Porovnání naměřených stáčivých rychlostí pomocí GS, z nichž je jeden umístěn v úrovni přední nápravy

Porovnání zrychlení naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným v úrovni zadní nápravy

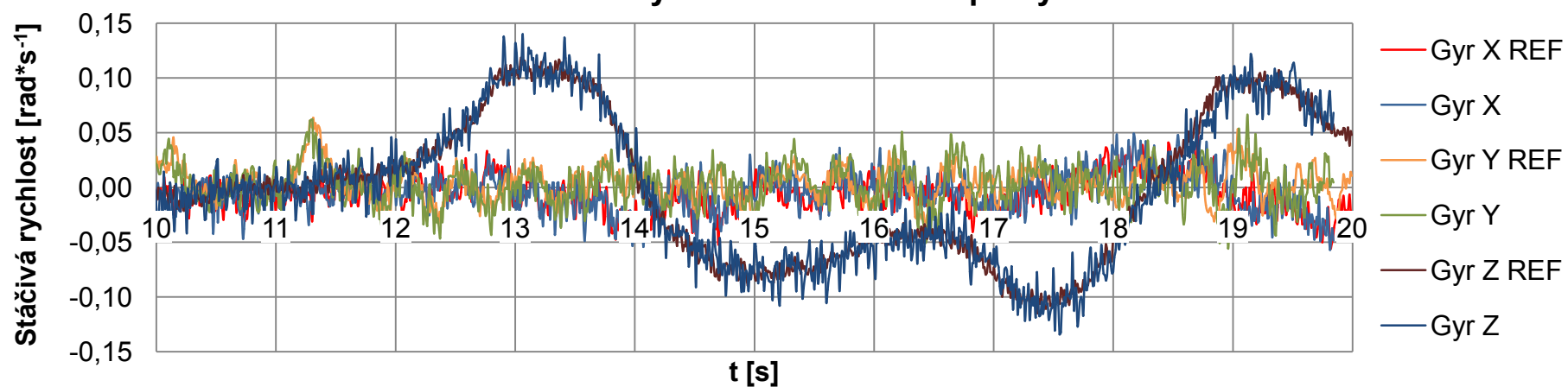


Časový průběh rozdílu naměřených hodnot zrychlení mezi dvěma GS

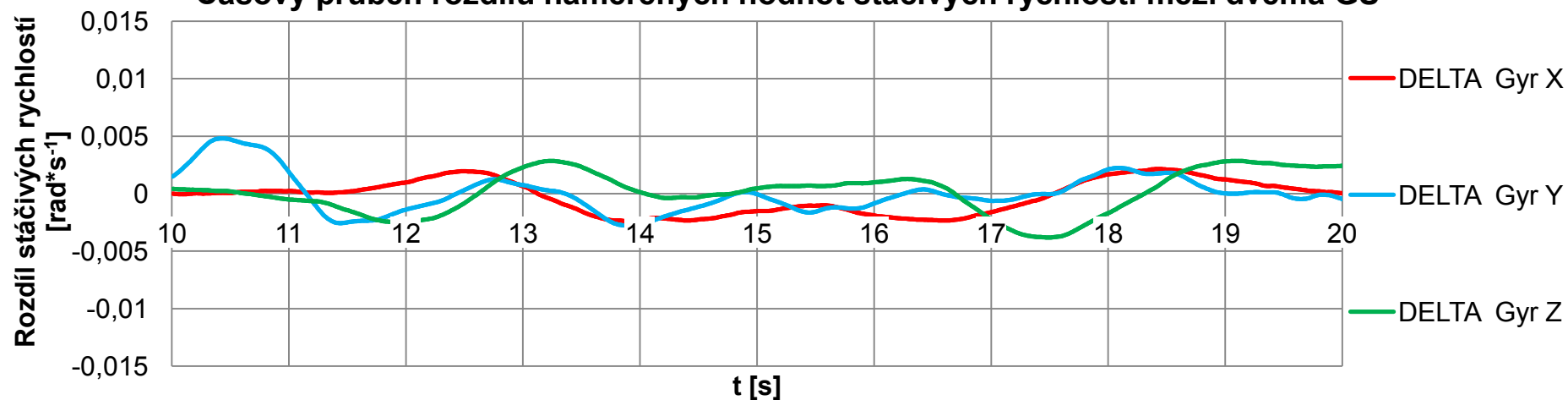


Obr. 4.18 Porovnání naměřených zrychlení pomocí GS, z nichž je jeden umístěn v úrovni zadní nápravy

Porovnání stáčivých rychlostí naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným v úrovni zadní nápravy

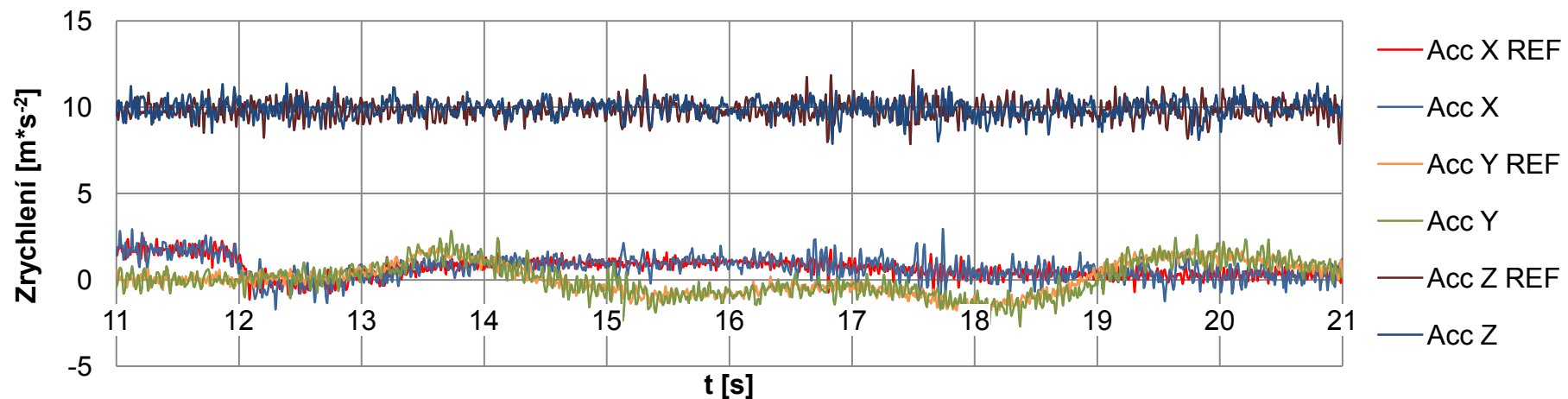


Časový průběh rozdílu naměřených hodnot stáčivých rychlostí mezi dvěma GS

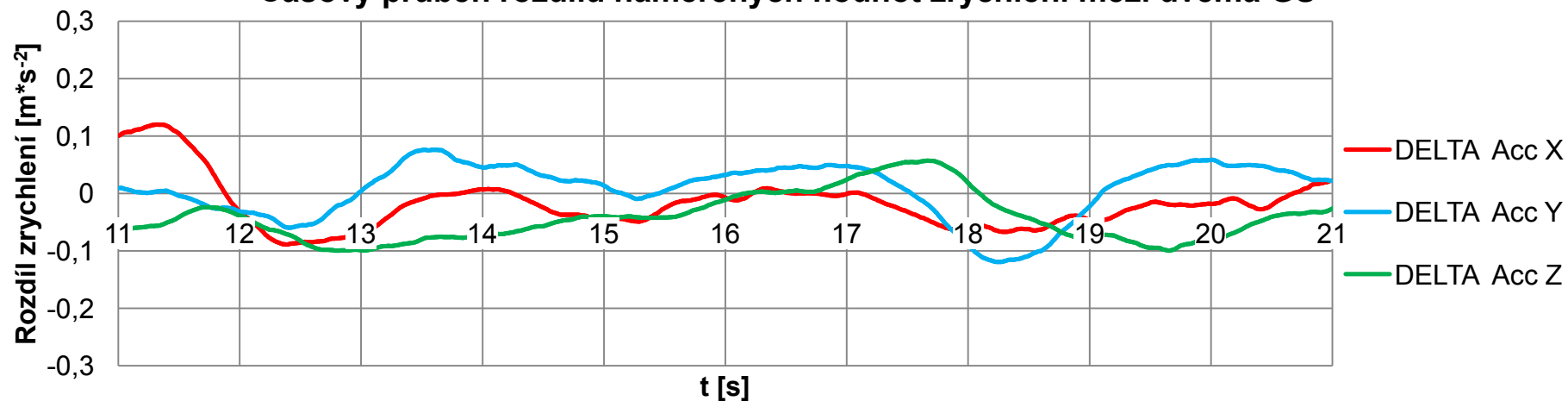


Obr. 4.19 Porovnání naměřených stáčivých rychlostí pomocí GS, z nichž je jeden umístěn v úrovni zadní nápravy

Porovnání zrychlení naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným na střeše vozidla

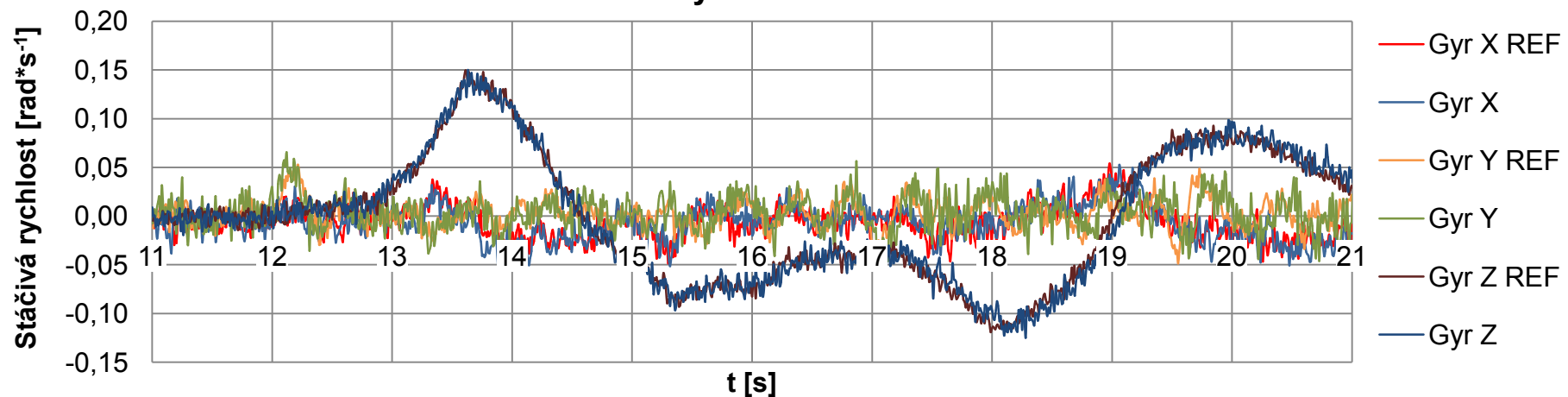


Časový průběh rozdílu naměřených hodnot zrychlení mezi dvěma GS

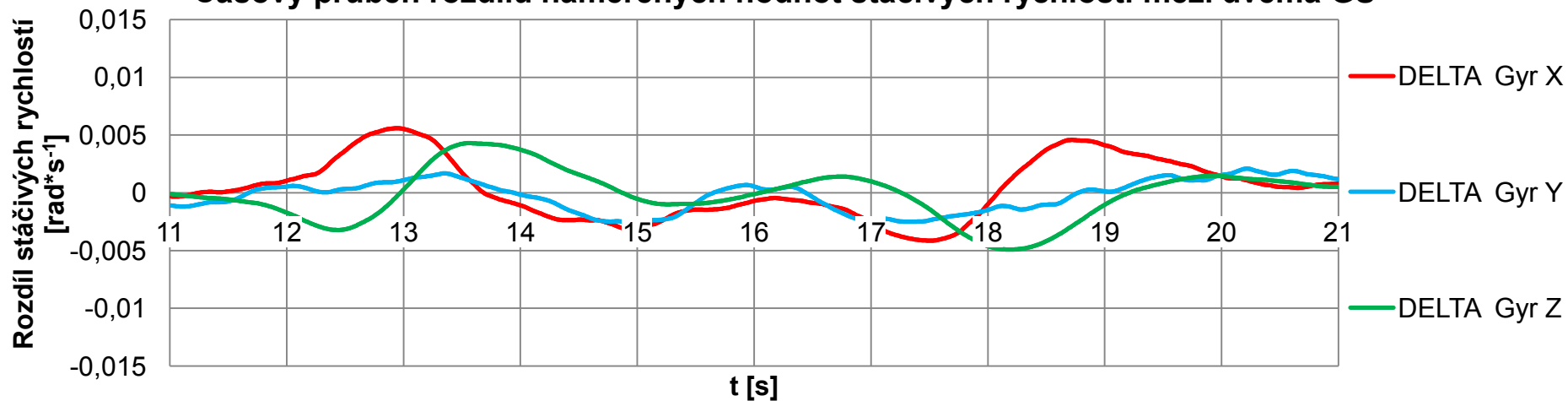


Obr. 4.20 Porovnání naměřených zrychlení pomocí GS, z nichž je jeden umístěn na střeše vozidla

Porovnání stáčivých rychlostí naměřených referenčním snímačem a snímačem umístěným na střeše vozidla



Časový průběh rozdílu naměřených hodnot stáčivých rychlostí mezi dvěma GS

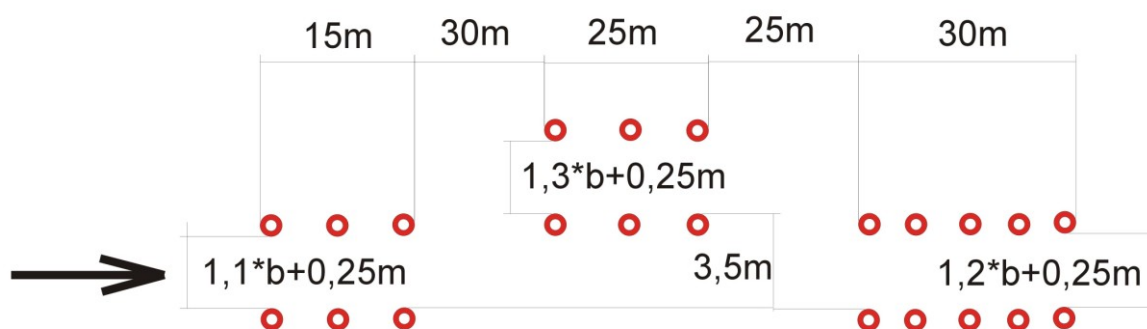


Obr. 4.21 Porovnání naměřených stáčivých rychlostí pomocí GS, z nichž je jeden umístěn na střeše vozidla

4.4 JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ A JEJICH VÝSLEDKY

Mezi objektivní zkoušky, využívané k posuzování jízdních vlastností a ovladatelnosti silničních vozidel, patří například zkouška ustáleného zatáčení, brzdění v zatáčce, přechodové odezvy stáčivé rychlosti, uvolnění volantu při zatáčení nebo zkouška změny hnací síly při zatáčení. Do kategorie subjektivních zkoušek patří vyhýbací manévr, označovaný jako losí test. Existují dvě verze této zkoušky, obě popisují normy (ISO/TR 3888 pro předjížděcí manévr a vyhýbací manévr dle německého sdružení automobilového průmyslu VDA.)

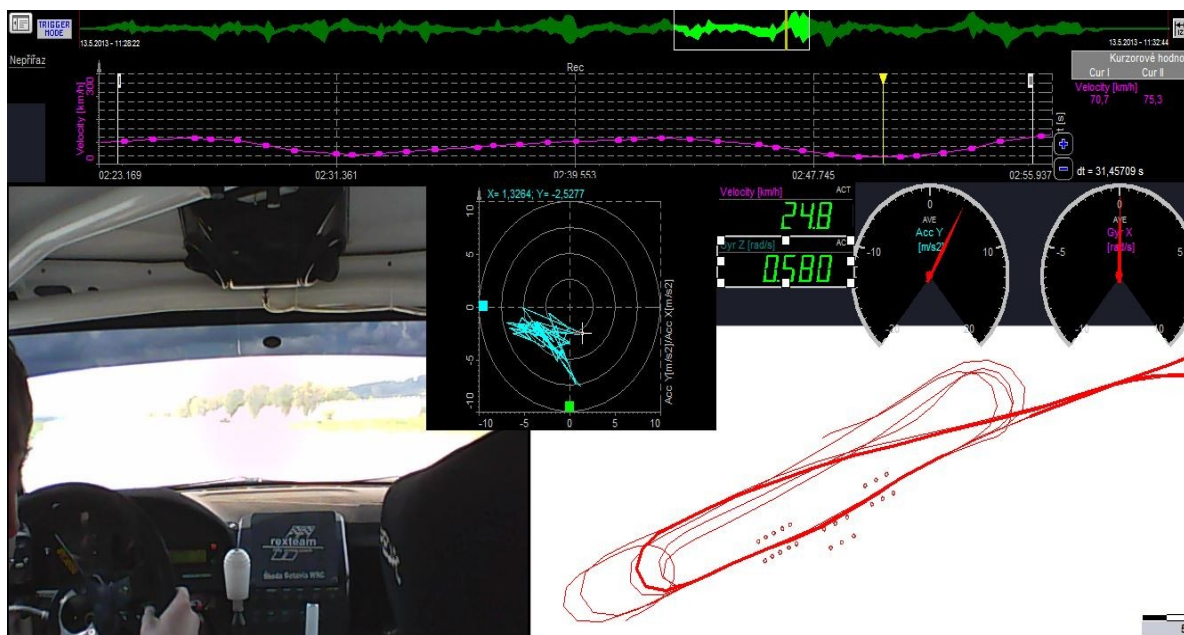
4.4.1 ZKOUŠKA OVLADATELNOSTI VOZIDLA - LOSÍ TEST



Obr. 4.22 Zkušební předjížděcí manévr dle normy ISO/TR 3888 (b = šířka vozidla)

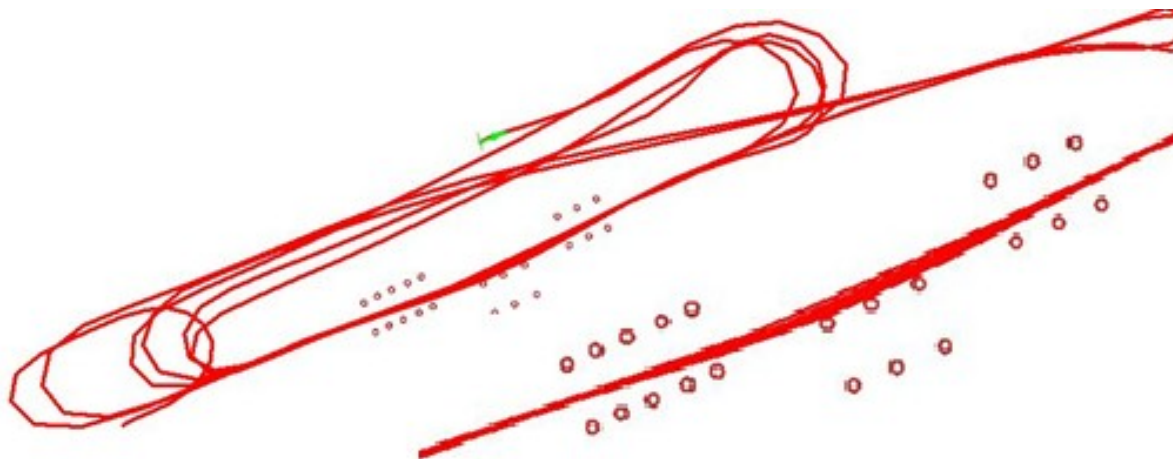
Velmi často využívaným kritériem k hodnocení kvality konstrukce, zpracování a nastavení vozidla s ohledem na ovladatelnost vozidla je předjížděcí manévr dle normy ISO/TR 3888. Při posuzování ovladatelnosti vozidla dle normy se posuzuje doba průjezdu. V měřeních v rámci předložené diplomové práce bylo využito této přesně dané trasy ke snadno opakovatelnému manévru, při kterém bylo měřeno mimo jiné zrychlení ve všech osách, stáčivá rychlost a náklon kolem těchto os, rychlost jízdy a v případě vozu Škoda Octavia WRC i data ukládaná interním dataloggerem řídící jednotky motoru. Schéma trasy předjížděcího manévru zobrazuje obrázek 4.22. Trasa byla vytyčena pomocí plastových kuželů na betonové ploše letiště v Hoškovicích u Mnichova Hradiště, což dokumentuje obrázek 4.25. Ze záznamu dat nahraných během několika průjezdů tímto vozem v různých rychlostech následovala analýza, která měla být spolu s tímto měřením jedním z priorit této diplomové práce. Počáteční průjezdová rychlost byla naměřena $55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, postupným zrychlováním

byla během šesti průjezdů dosažena maximální rychlost průjezdu $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Průjezd vyšší rychlostí by pravděpodobně znamenal poražení některého z kuželů vytyčující trať a tím znehodnocení pokusu. Cílem tohoto měření ani nebylo dosáhnout maximální rychlosti průjezdu, nebo-li nejkratšího času průjezdu, ale posoudit a analyzovat vliv různých podmínek při jízdě a popsat jejich závislosti pomocí gyroskopického snímače.



Obr. 4.23 Analýza dat v programu DEWESoft

Výsledek první části analýzy přímo v programu DEWESoft znázorňuje obrázek 4.24. Jedná se o záznam dat z GPS přijímače promítnutý na předem zkalibrovanou mapu. V tomto případě se nejedná o klasickou mapu, ale o schéma normalizovaného předjížděcího manévru vytvořeného v programu CorelDRAW. Obrázek obsahuje nejen trajektorii průjezdu mezi kuželkami, ale i objízdne trasy mezi jednotlivými pokusy. Ve dvou případech musela být použita větší rozjezdová dráha nutná k dosažení průjezdové rychlosti nad $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Detailní pohled na trajektorii při samotném manévru znázorňuje jisté nedodržení trajektorie v prostřední části trasy. Ve skutečnosti se však nejedná o nedodržení trasy, ale o nepřesnost měření GPS přijímače, což zavinila nízká vzorkovací frekvence. I přes to sehrávají tato data jen těžko nahraditelnou roli v orientaci v naměřených datech. Spolu s on-line video záznamem umožňují velmi komfortní vyhledání úseků vhodných k další analýze. Ukázkou obrazovky programu DEWESoft při prohlížení dat a výběru úseků vhodných k analýze nabízí obrázek 4.23.



Obr. 4.24 Záznam trajektorie GPS přijímače při opakovaném průjezdu předjížděcím manévrem ISO/TR 3888, vpravo dole detailní pohled na samotný manévr

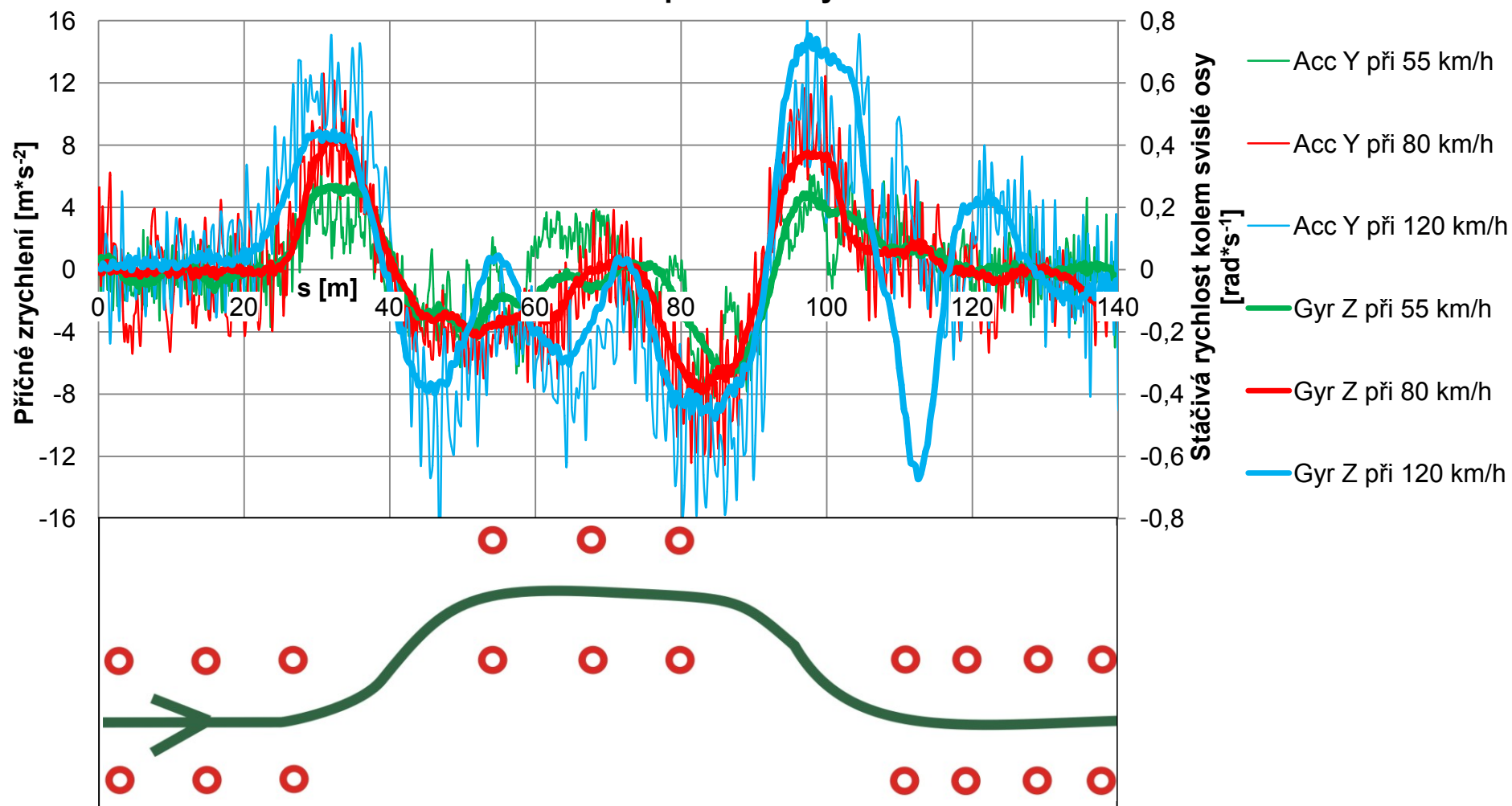
Hlavní část tohoto pokusu se však týká analýzy dat naměřených prostřednictvím gyroskopického snímače. Konkrétně hodnoty příčného zrychlení, neboť mají vazbu na průjezdovou rychlost a trajektorii. Naopak podélné zrychlení se v tomto případě pohybuje velmi blízko nulové úrovni, protože se dařilo projíždět manévr konstantní rychlostí. Zrychlení ve svislém směru dosahovalo hodnot v úrovni gravitačního zrychlení, protože žádné další (dynamické) zrychlení na vozidlo nepůsobilo. Druhou veličinou vhodnou k analýze byla stáčivá rychlost kolem svislé osy z , jejíž hodnoty popisují zatáčení vozidla. Hodnoty rychlosti stáčení kolem podélné osy x popisují rozměr kolébání vozidla a analogicky rychlost stáčení kolem příčné osy znamenající klopení karoserie. Tyto hodnoty výsledný graf analýzy průjezdu předjížděcím manévrem na obrázku 4.26 pro přehlednost nezobrazuje. Pro popis jízdy a následnou analýzu postačují výše zmíněné hodnoty stáčivé rychlosti kolem svislé osy a zrychlení v příčném směru. Pro co nejlepší prezentaci dat a možnosti vzájemného porovnání naměřených veličin při různých rychlostech, znázorňuje vodorovná osa grafu vzdálenost od počátku testu, namísto běžné časové základny. V případě časových průběhů veličin by se sice velikost analyzovaných veličin nezměnila, ale nebylo by možné vzájemně synchronizovat výsledky průjezdu daných úseků manévru pro různé rychlosti. V případě přepočtu hodnot na ose x se může tato osa doplnit schématem manévru, jak jsem učinil u grafu na obrázku 4.26. Z tohoto grafu vyplývá, že velikost stáčivé rychlosti kolem svislé osy a příčného zrychlení při průjezdu stejnou zatáčkou úměrně roste s rychlostí průjezdu. Navíc při běžném průjezdu odpovídá i smysl obou veličin v každém okamžiku (levá zatáčka

kladné zrychlení i stáčivá rychlost a naopak). Nejpodstatnějším efektem doloženým touto analýzou považují popis smyku, který nastal při rychlosti $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ v oblasti 105 až 118 metrů od začátku testu. Tento smyk byl subjektivně citelný a vyžadoval zásah řidiče, který spočíval v protipohybu volantu oproti běžnému smyslu zatáčení v levé zatáčce. Tento smyk je snadno patrný i obrázku 4.26, kde průběh stáčivé rychlosti v tomto úseku prudce klesá do záporných hodnot (signalizující stáčení vozu vpravo), avšak ve stejném okamžiku na vozidlo působí kladné příčné zrychlení znamenající levou zatáčku, kterou automobil skutečně projížděl. Ve vzdálenosti 119 m od začátku testu se vozidlo díky reakci řidiče vyrovnává a naopak dochází k jistému překmitu smyku, který popisuje vlna s vrcholem ve vzdálenosti 121,5 m. O smyk se však jedná pouze do místa 120,2 m. Důkazem toho je nesouhlasný smysl příčného zrychlení (záporné) a stáčivé rychlosti kolem osy z (kladný) v oblasti 118 až 120,2 metrů od startu. Ve vzdálenosti 120,2 m získává vozidlo zpět plnou adhezní schopnost, což potvrzuje změna smyslu příčného zrychlení v tomto okamžiku.



Obr. 4.25 Průjezd předjížděcího manévru vozem Škoda Octavia WRC

Vybrané hodnoty naměřené GS při předjížděcím manévru vozidla Škoda Octavia WRC pro různé rychlosti



Obr. 4.26 Výsledky analýzy průjezdu vozu Škoda Octavia WRC předjížděcím manévrem pro různé rychlosti

4.4.2 URČENÍ SOUČiniteLE ADHEZE

Další parametr, který můžeme při měření zjistit, popisuje adhezní vlastnosti mezi pneumatikou a vozovkou. Jedná se o součinitel adheze, který udává poměr mezi normálovou silou (tíha automobilu) a tečnou (adhezní) silou, která vyjadřuje velikost přilnavosti mezi kolem a vozovkou. V případě posuzování adheze všech kol vozidla jako celku nemusíme uvažovat hmotnost vozidla, která působí v obou směrech a během výpočtu by se vykrátila. Tím již neřešíme poměr mezi silami, ale poměr mezi zrychlením ve vertikálním směru (gravitační) a zrychlením v horizontálním směru (akcelerační, decelerační a dostředivé). Protože velikost gravitačního zrychlení je obecně známá a hodnotu zrychlení ve vodorovném směru udává gyroskopický snímač. Není problém získat hodnotu bezrozměrného součinitele adheze označovaného μ . Běžné hodnoty součinitele adheze mezi pneumatikou a suchým asfaltem se blíží hodnotě 0,95 a v případě suchého betonu až k 0,98. Například pro jízdu na hladkém ledu se používá hodnota 0,21. Ovšem velikost součinitele adheze nezáleží pouze na vlastnostech kontaktních ploch, ale i na rychlosti vozidla a skluzu. Obrázek 4.27 zobrazuje nejvyšší hodnoty součinitelů adheze vypočtených z dat během všech měření v rámci této diplomové práce.

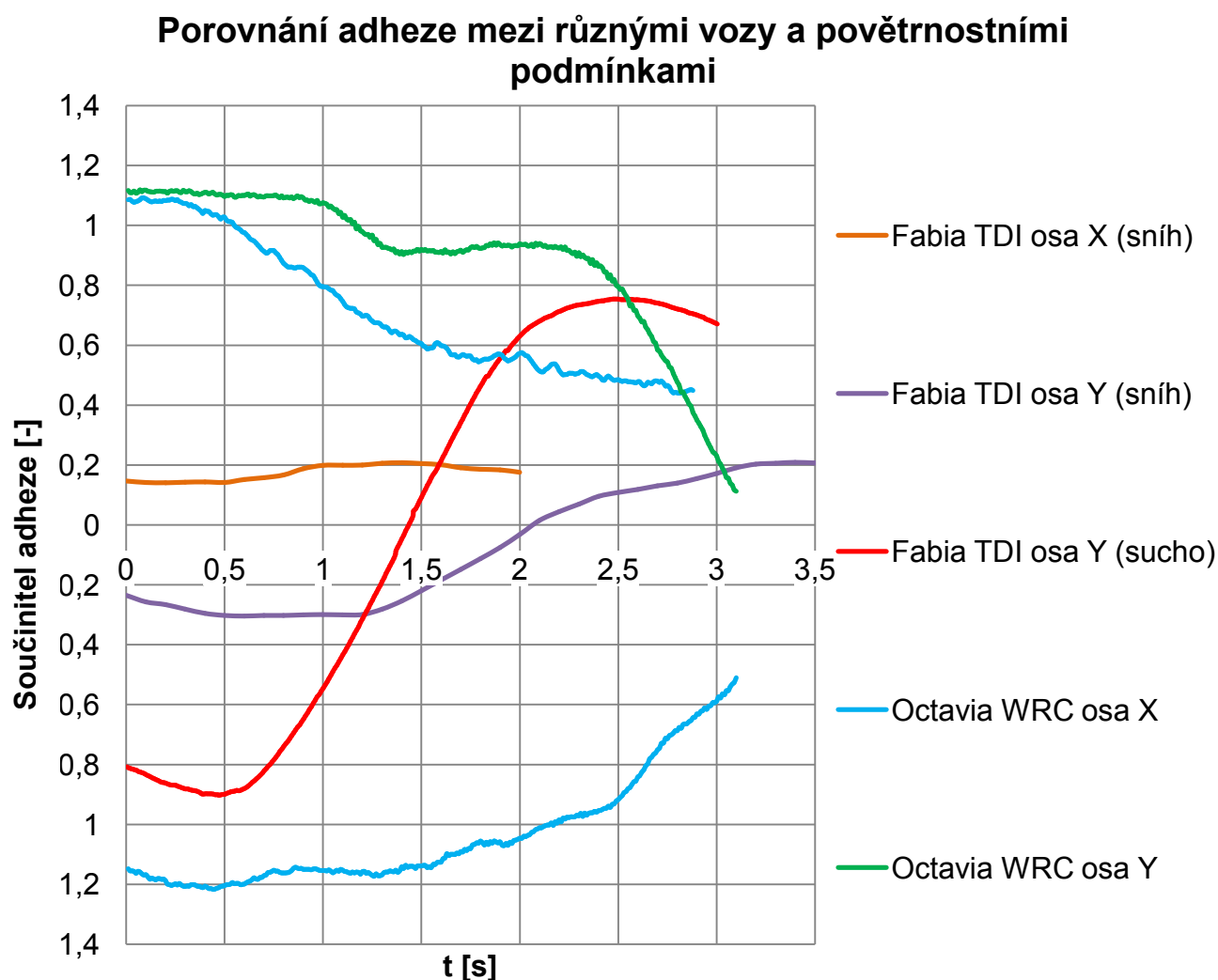
Proměnlivý průběh křivek neznamena, že by se maximální možný součinitel adheze za daných podmínek měnil s časem. Tento průběh zapříčinil způsob výpočtu, při kterém se aktuální zrychlení vydělí gravitačním zrychlením. Proměnlivost tedy způsobuje nevyužití maximálního součinitele adheze. Proto má smysl zabývat se jen maximálními hodnotami daných křivek. Spodní část grafu představuje hodnoty součinitele adheze při brzdění (pro μ v ose x), případně při průjezdu pravé zatáčky (pro μ v příčném směru.)

Pozoruhodných hodnot dosahuje součinitel adheze u vozidla Škoda Octavia WRC. Nejvyšší hodnoty dosahuje při brzdění, konkrétně 1,216. V příčném směru pak 1,119 a nejméně při akceleraci (1,092). Všechny tyto hodnoty dokazují speciální soutěžní pneumatiky Michelin, umožňují přenos větší adhezní síly než působící tlakové síly mezi pneumatikou a vozovkou.

V případě vozidla Škoda Fabia TDI uvádí graf na obrázku 4.27 hodnoty součinitele adheze jak pro jízdu na suché vozovce, tak i pro jízdu na sněhu. Na suché vozovce bylo dosaženo hranice adheze pouze v příčném směru a to při zatáčení během

průjezdu normalizovaného předjížděcího manévru (losí test). Nejvyšší součinitel adheze dosáhl hodnoty 0,902 při zatáčení vpravo a 0,754 vlevo, což znamená, že při průjezdu levé zatáčky nebyla adheze plně využita.

Hodnoty vypočtené z měření jízdy na umrzlém sněhu odpovídají předpokladům a největší součinitel adheze mezi zimní pneumatikou AVON v rozměru 195/50 R15 a uježděnou zmrzlou vrstvou sněhu činí 0,309 pro zatáčku vpravo, 0,243 pro zatáčku vlevo a 0,215 pro akceleraci. Odpovídající hodnota součinitele adheze pro dané podmínky se pravděpodobně pohybuje kolem hodnot 0,22 až 0,25. Velikost součinitele adheze vypočtená z maximálního příčného zrychlení při průjezdu pravé zatáčky nejspíše zkresluje kontakt vozu se sněhovou bariérou, který zapříčinil větší zrychlení a tím i vyšší hodnotu součinitele adheze než při běžném průjezdu.

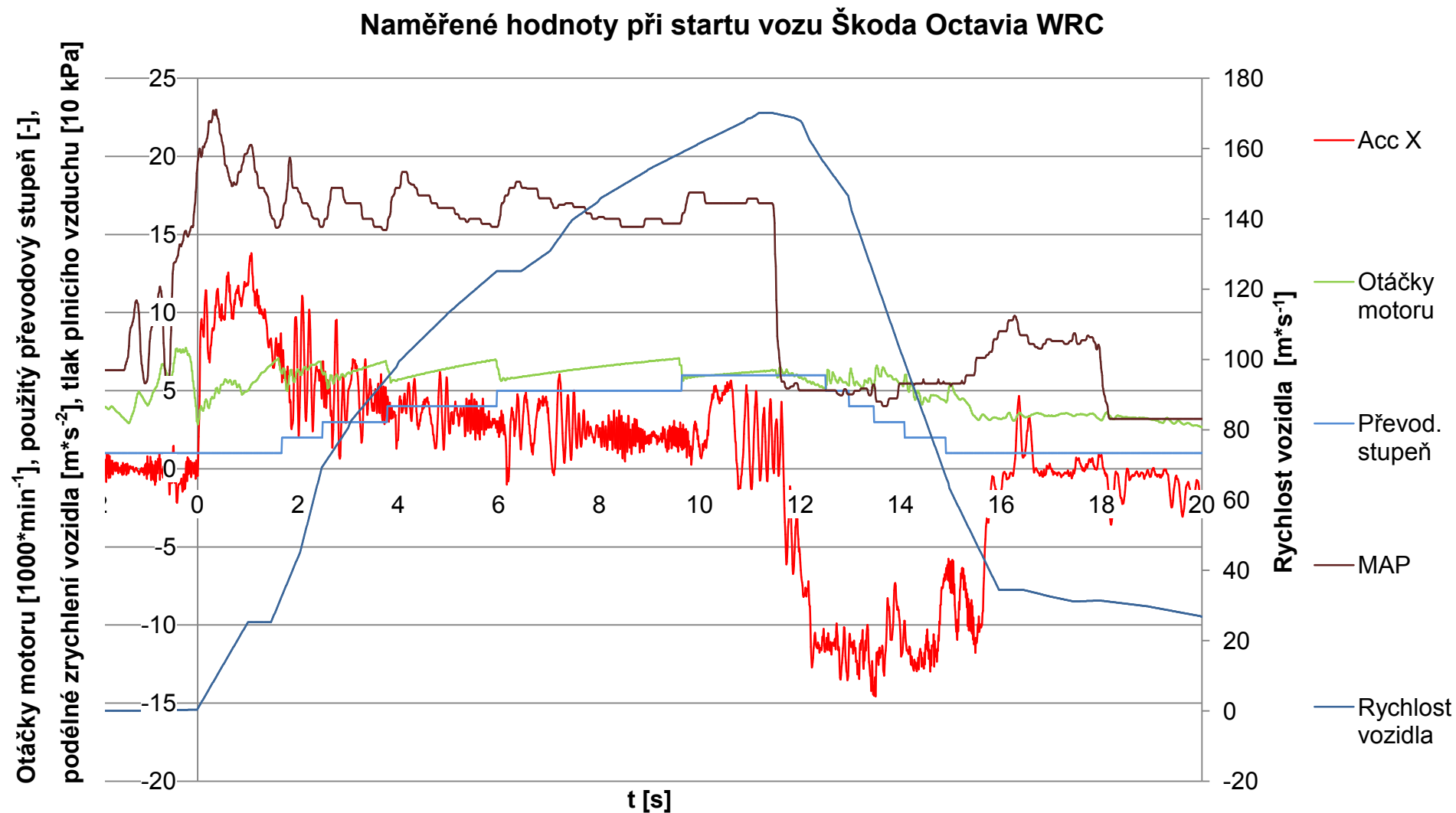


Obr. 4.27 Adheze vypočtená pro různé automobily a adhezni podmínky. Horní polovina grafu zobrazuje hodnoty pro akceleraci a levou zatáčku, spodní pak pro brzdění a pravou zatáčku

4.4.3 POPIS STARTU VOZU ŠKODA OCTAVIA WRC

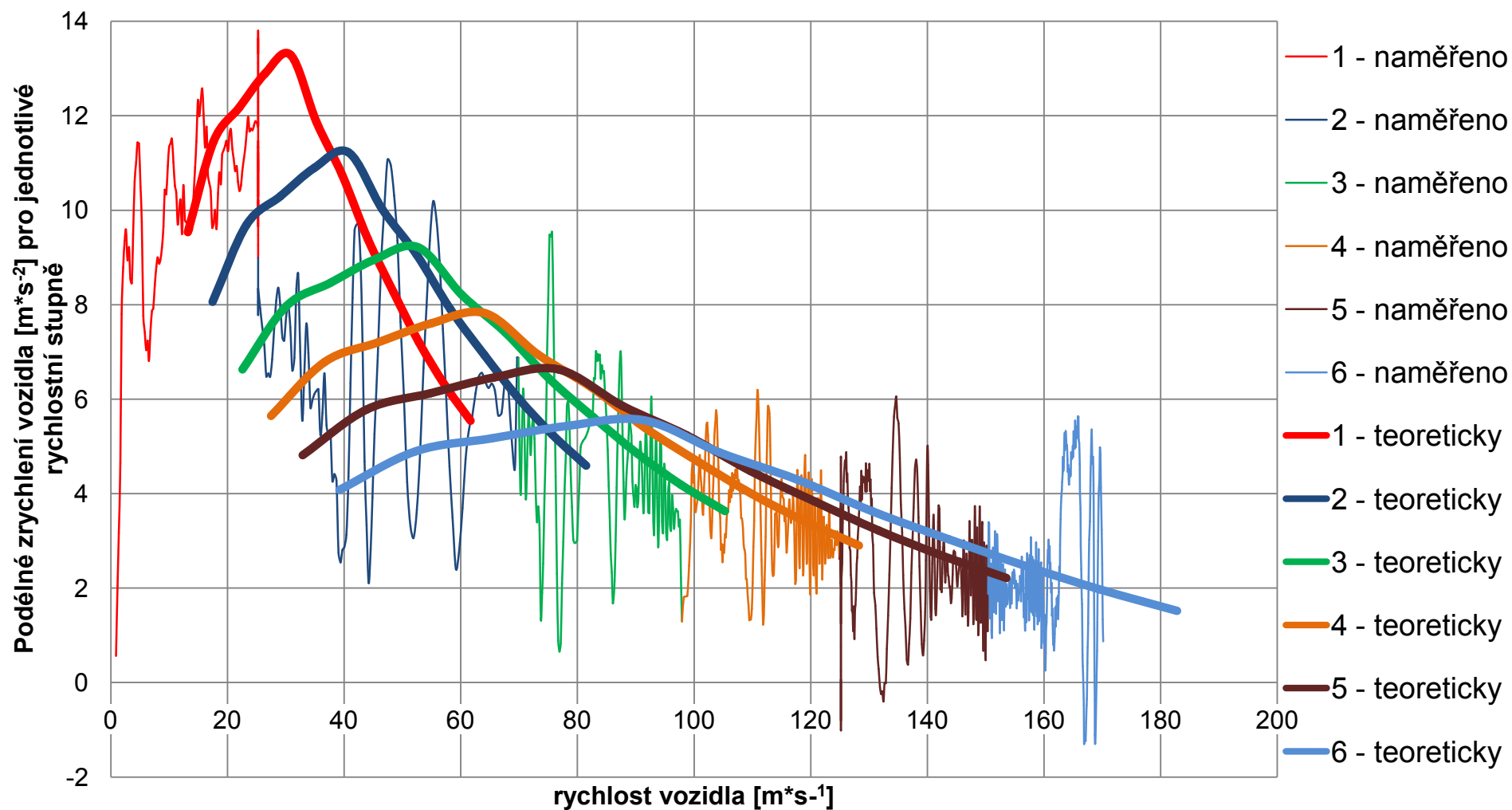
Jednou z největších priorit techniky vozů WRC bývá samotný start tohoto vozu. Výkon přeplňovaného dvoulitrového motoru přesahující 230 kW, točivý moment 640 Nm, stálý pohon všech kol, osmnáctipalcová kola osazená speciálními sportovními pneumatikami šířky 225 mm. Již tyto parametry naznačují, že se soutěžní speciál o hmotnosti 1230 kg umí velmi hbitě pohybovat a přesně reagovat na požadavky řidiče. Obrázek 4.28 znázorňuje vybraná naměřená data při startu vozu v závodním režimu. Z gyroskopického snímače získáváme průběh zrychlení v podélném směru, z GPS přijímače rychlost vozidla a z dataloggeru řídicí jednotky motoru průběh otáček motoru, tlaku nasávaného vzduchu (MAP) a aktuálně zařazený rychlostní stupeň. Start proběhl v čase 0 s.

Následující graf (obr 4.29) znázorňuje porovnání průběhu podélného zrychlení, které bylo naměřeno při rozjezdu vozidla a vypočítaného maximálního zrychlení při dané rychlosti vozidla na jednotlivé rychlostní stupně. Průběh naměřeného zrychlení má poměrně hodně kmitavý průběh. Uvážíme-li však, že speciální soutěžní vůz nepoužívá pryžové prvky k tlumení vibrací hnacího agregátu, všechny části podvozku spojují velmi tuhé ocelové kulové klouby, spojka ani setrvačník nedisponují žádným tlumičem torzních kmitů, konstrukce převodů typu přímého ozubení se zakládá na maximálním přenesitelném krouticím momentu, nikoli na nízké hlučnosti, je zřejmé, že komfort jízdy není prioritní parametr. Tuhá karoserie s instalovaným ochranným rámem maximálně zvyšuje tuhost karoserie a přenáší veškeré vibrace výše zmíněných zařízení. Z obrázku 4.29 můžeme vyzorovat, že průběh naměřeného zrychlení osciluje kolem teoretického, což potvrzuje správnost měření i výpočtu. Teoretické zrychlení dosahuje v průměru o 5 až 15% vyšších hodnot, což vyplývá z rozdílu mezi výkonovými parametry na brzdovém stanovišti, které byly k výpočtu použity a skutečným točivým momentem motoru během měření. Tato změna nastává vždy po optimalizaci map řídicí jednotky při reálné jízdě, při které se korigují parametry řízení turbodmychadla a spalování s ohledem na životnost motoru. Často spekulovaný parametr času zrychlení vozidla z klidu na rychlost $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ při tomto pokusu dosahuje hodnoty 4,0943 s. Při použití jiné specifikace odstupňování převodovky a stálého převodu, by bylo možné rozjet vozidlo na rychlost $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ v čase pod 3,6 s, tím by se však snížila maximální rychlost vozu z $223 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na $208 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.



Obr. 4.28 Časový průběh vybraných veličin při startu vozu Škoda Octavia WRC

Porovnání naměřeného a teoretického zrychlení při rozjezdu vozu Škoda Octavia WRC



Obr 4.29 Porovnání vypočteného a naměřeného podélného zrychlení při rozjezdu vozu Škoda Octavia WRC v závislosti na rychlosti

4.4.4 ZJIŠŤOVÁNÍ VÝKONNOSTNÍCH PARAMETRŮ POMOCÍ GS

Využití gyroskopického snímače neznamena pouze analýzu podvozkových částí automobilu. Může nalézt uplatnění i při zjišťování nebo porovnávání parametrů hnacího ústrojí. Pokud jsme schopni změřit a zaznamenat zrychlení v podélné ose vozidla a otáčky motoru nebo rychlost vozidla, můžeme při znalosti určitých parametrů vypočítat točivý moment a výkon motoru. Mezi nutné parametry, bez kterých se při výpočtu točivého momentu neobejdeme, patří hmotnost vozidla m , součinitel valení f , moment setrvačnosti motoru J_M , moment setrvačnosti kol a příslušných rotačních částí J_K . Celkovou účinnost přenosu točivého momentu od spojky ke kolu η_P , převodový poměr stupně zařazeného při měření i_P , převodový poměr ostatních převodů i_R , obvod nebo poloměr kola r_K , velikost čelní plochy automobilu S_X a součinitel aerodynamického obtékání karoserie c_X . Výpočet se opírá o obecné rovnice 4.11 až 4.17

$$v = \omega_K * r_K = 2 * \pi * n_K * r_K = \frac{2 * \pi * n_M}{i_P * i_R} * r_K [m * s^{-1}] \quad (4.11)$$

$$F_K = \frac{M_K}{r_K} = \frac{M_M * i_P * i_R * \eta_P}{r_K} [N] \quad (4.12)$$

$$D = \frac{F_K - O_V}{G} [-] \quad (4.13)$$

$$O_V = \frac{1}{2} * \rho_V * S_X * c_X * v^2 [N] \quad (4.14)$$

$$O_f = G * f [N] \quad (4.15)$$

$$a = (D - f) * \frac{g}{\xi} [m * s^{-2}] \quad (4.16)$$

$$\xi = 1 + \frac{J_M * (i_P * i_R)^2 * \eta_P + \sum J_K}{r_K^2 * m} [m * s^{-2}] \quad (4.17)$$

Úpravou a součtem rovnic (4.13) a (4.16) získáme vzorec pro výpočet hnací síly na kolech F_K uvedený v rovnici (4.18).

$$F_K = \left(\frac{a * \xi}{g} + f \right) * m * g + O_V [N] \quad (4.18)$$

Velikost hnací síly na kolech vozidla vypočtená rovnicí (4.18) se použije pro výpočet točivého momentu motoru (4.19), kterou získáme úpravou vzorce (4.12).

$$M_M = \frac{F_K * r_K}{i_P * i_R * \eta_P} [Nm] \quad (4.19)$$

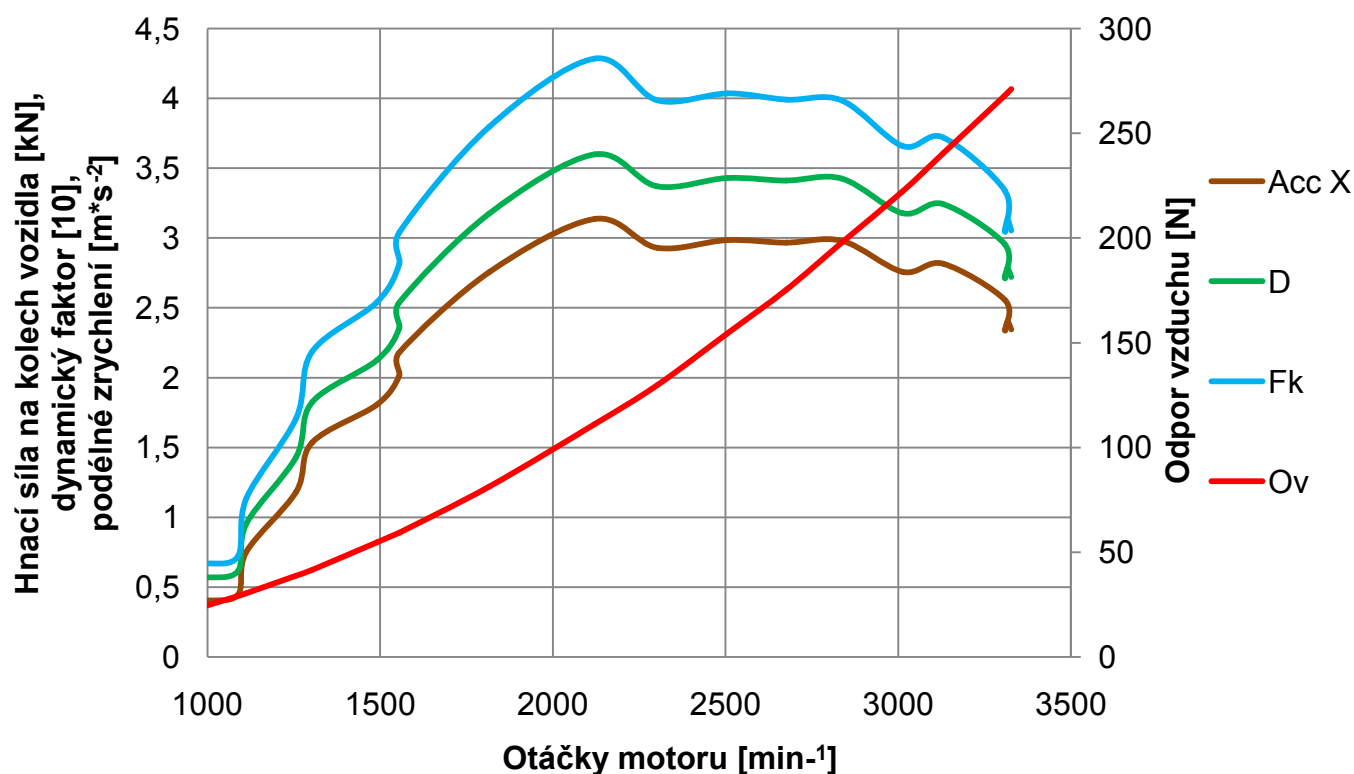
Pro zjištění výkonu motoru potřebujeme kromě točivého momentu motoru i otáčky motoru. V případě, že nepoužíváme k měření otáček snímač otáček, který dodává data pro řídicí jednotku motoru, a neukládáme tyto hodnoty pomocí CAN-BUS sběrnice, což by bylo nejpřesnější, ale i poměrně komplikované vzhledem k napojení na vozovou sběrnici a vyčtení žádané hodnoty z CAN protokolu. Další možností je externí snímač otáček, který získává data z proudových pulsů v blízkosti zapalovací svíčky zážehových motorů. Vzhledem k tomu, že výše popsany řetězec disponuje snímáním rychlosti prostřednictvím GPS přijímače, nabízí se tato data použít. Sice tento snímač nenabízí vysokou vzorkovací frekvenci a přesnost, ale pro měření výkonových parametrů hnacího agregátu jsou vlastnosti naměřených dat rychlostí dostatečné. Otáčky motoru z rychlosti vozidla získáme výpočtem dle vzorce (4.20). Vzorec vznikl vyjádřením z rovnice (4.11) a obsahuje koeficienty převodu jednotek. Pro možnost přímého dosazování hodnot v obvyklých jednotkách (otáčky n [min^{-1}], rychlost v [$\text{km} \cdot \text{hod}^{-1}$]).

$$n_M = \frac{1000 * i_P * i_R * v}{120 * \pi * r_K} [\text{min}^{-1}] \quad (4.20)$$

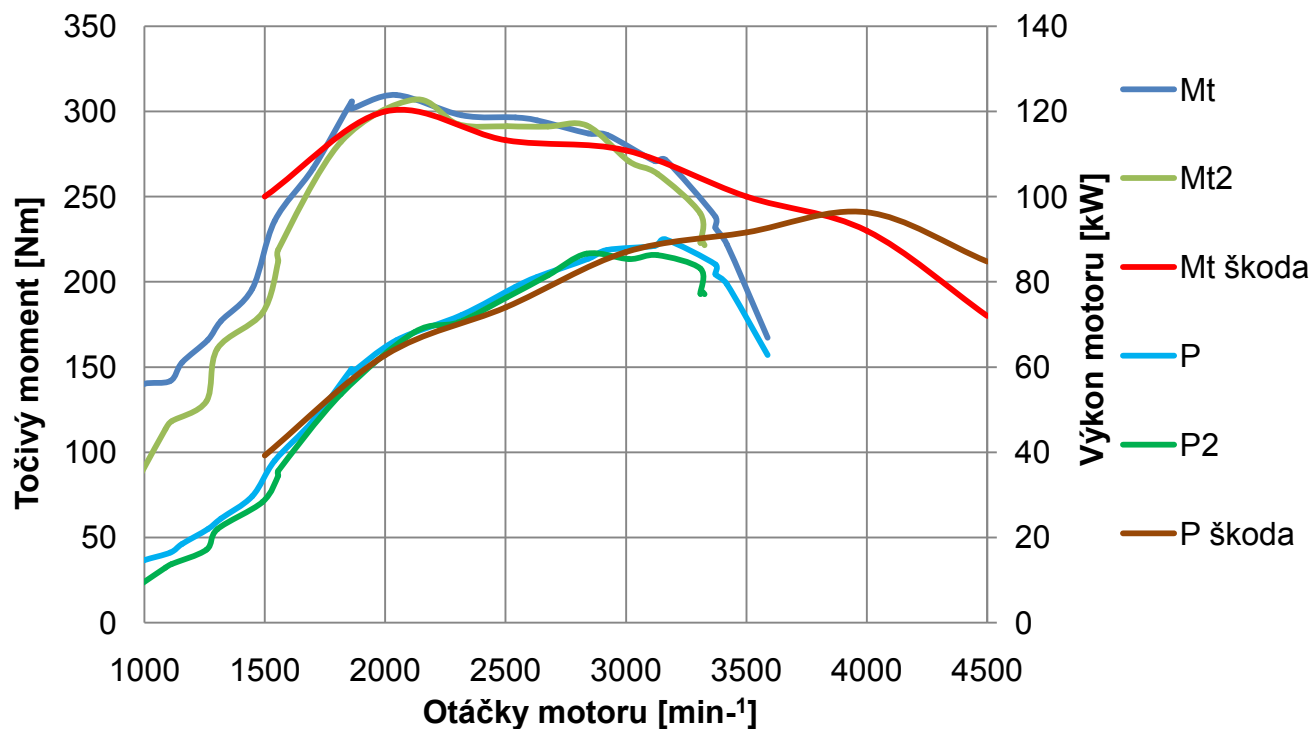
Následně už není problém vypočítat výkon motoru dle známého vzorce (4.21), opět obsahuje i koeficienty, díky kterým lze dosadit běžně používané rozměry veličin (výkon motoru P_M [kW], otáčky n [min^{-1}], točivý moment M_M [$\text{N} \cdot \text{m}$]).

$$P_M = \frac{\pi * n_M * M_M}{30000} [kW] \quad (4.21)$$

Průběhy veličin využitých k určení výkonových parametrů z hodnot naměřených GS



Výkonostní parametry motoru získané z dat naměřených prostřednictvím snímače zrychlení



Obr 4.30 Výkonové parametry vozu Škoda Fabia RS, křivky označené jako Škoda znázorňují hodnoty udávané výrobcem, ostatní křivky popisují výsledky analýzy

5 UPLATNĚNÍ GS

5.1 VYUŽITÍ GS V SOUČASNÝCH AUTOMOBILECH

Gyroskopické senzory začaly automobily využívat současně se zavedením stabilizačních systémů označovaných nejčastěji ESP. Tyto systémy nepoužívají žádný sofistikovaný snímač jako například Xsens Gyro MTi, ale ke své funkci nutně potřebují senzor příčného zrychlení a dále senzor stáčivé rychlosti kole osy z. Tyto senzory pracují nezávisle na sobě, a přestože se jejich umístění shodně směřuje co nejbližší k těžišti vozidla, každý tvoří samostatný celek. Důvod jejich použití vyplývá z potřeby systému ESP korigovat jízdní stavy za hranicí stability vozidla, k čemuž systém musí zjistit požadavek řidiče a to porovnat se skutečným stavem. K vyhodnocení požadavku řidiče postačí hodnoty ze snímače natočení volantů a snímačů otáček jednotlivých kol. Posoudit aktuální jízdní stav, ve kterém se vozidlo nachází, je mnohem náročnější. Opírá se právě o hodnoty ze snímače příčného zrychlení a stáčivé rychlosti kolem svislé osy. Zda se vozidlo nachází ve stabilním, či nestabilním stavu, se posuzuje stejně tak, jak bylo analyzováno z naměřených dat v kapitole 4.4.1 této diplomové práce. Díky informacím z dalších senzorů (natočení volantů a otáčky jednotlivých kol) řídicí jednotka vyhodnotí případný zásah (přibrzdění jednotlivých kol) k zajištění stability vozidla. Vozidla s pohonem všech kol využívající připojovací spojku Haldex, musí po správné činnosti systému ESP využít i senzor podélného zrychlení.

Mimo využití senzoru k zajištění funkce určitého systému vozidla se v rámci komfortní výbavy objevuje u některých sportovně laděných automobilů funkce zobrazení aktuálního zrychlení v orbitálním grafu na palubním displeji. Tato funkce slouží pouze k informativním účelům pro posádku automobilu.



*Obr. 5.1 Senzor příčného zrychlení
G200 pro vozy Škoda*

5.2 NÁVRHY BUDOUCÍHO UPLATNĚNÍ

Jak ukazují měření v rámci čtvrté kapitoly této diplomové práce, různorodost využití výsledků získaných z dat naměřených senzorem Xsens Gyro MTi je pozoruhodná. Ještě více mohou být naměřená data využitelná při spojení s výsledky dalších senzorů, které bohužel nebylo možné v rámci této diplomové práce využít. Proto doporučuji využít gyroskopický senzor Xsens pro měření prováděná na Katedře vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci během jízdních zkoušek. Gyroskopický snímač nemusí sloužit pouze pro analýzu podvozkových částí, ale své využití může nalézt také v oblasti řízení motoru a automatické převodovky. Porovnávání teoretického vypočteného zrychlení s naměřeným zrychlením, které mimo jiné uvádí i kapitola 4.3.3, umožňuje posuzovat provozní stav motoru. Jednak z hlediska stavu motoru během jeho životnosti, ale také vlivy různých úprav pohonné jednotky a jejího příslušenství. Například porovnávání vlivu různých alternativních paliv nebo s tím souvisejících úprav na výkonové parametry motoru, protože takovými pokusy a zkouškami se zdejší katedra zabývá velmi intenzivně.

Perspektivní oblastí v rámci využití gyroskopického snímače mohou být měření podélného zrychlení při běžném provozu u různých typů vozidel během různého režimu provozu (městský, meziměstský, dálniční). Výsledkem analýzy těchto dat by mohlo být posouzení vhodnosti následného využití systému rekuperace brzdné energie a určení, jaká koncepce tohoto systému by byla pro dané vozidlo a styl využívání nejvhodnější. Využití GS by bylo vhodné využít i pro následnou optimalizaci takového systému a posouzení výhod či nevýhod daných řešení.

Považuji využití gyroskopického snímače přínosné při většině jízdních zkoušek automobilů. Jeho montáž a obsluha není příliš komplikovaná a výsledky mohou být v mnoha případech velmi přínosné, v některých dokonce nenahraditelné.

Využití GPS přijímače, který je součástí měřicího řetězce popisovaného touto diplomovou prací, velmi napomáhá k orientaci ve velkém množství naměřených dat. V případě zjištění nějakého neobvyklého jevu nebo hodnoty během analýzy jakékoli zkoušky umožňuje záznam z GPS přijímače nebo webkamery objasnit podmínky (pozice, rychlost, tvar trajektorie, videozáznam) v okamžiku neobvyklého jevu a tím přinejmenším snadno opakovat podobné podmínky pro vyřešení problému, nebo dokonce objasnit nežádoucí efekt v závislosti na záznamu GPS přijímače,

GS senzoru nebo webkamery. V řadě případů není takový neobvyklý jev způsoben přímo činností stroje, ale nějakými vnějšími chybovými vlivy. Například špatné řazení nebo řízení vlivem obsluhy, přejezd nerovnosti vozovky a mnoho dalších, většinou výjimečných jevů.

6 ZÁVĚR

Všechny body zadání předložené diplomové práce byly splněny. V rámci úvodních kapitol byly popsány principy a vlastnosti gyroskopického snímače Xsens Gyro MTi. Parametry tohoto senzoru, kterým se zabývala tato diplomová práce, byly porovnány s dalšími nabízenými senzory. Další část práce se věnovala popisu měřicího systému, který byl k dispozici k následným měřením. Konkrétně se jednalo o software DEWESoft, webkameru a GPS přijímač. Kromě popisu jednotlivých částí, návrhu propojení těchto prvků ve funkční měřicí systém, byly uvedeny i další senzory, které by také byly prospěšné pro analýzu jízdy.

Hlavní část se zabývala analýzou jednotlivých měření, kterých bylo provedeno několik desítek. Několik prvních měření bylo využito k rozboru vlivu způsobu spojení senzoru s měřeným objektem. Jako nejvhodnější způsob upevnění senzoru se jevilo použití samolepicího suchého zipu Dual Lock od firmy 3M, který v porovnání se samolepicí pěnovou páskou a šroubovým spojením prostřednictvím držáku upřednostňovala snadná montáž a demontáž při vhodném přenosu dat.

Výsledek další analýzy naměřených dat vedl k porovnání vlivu polohy umístění gyroskopického snímače. Zkoušena byla umístění v úrovni přední nebo zadní nápravy a na střeše vozidla v porovnání s referenčním senzorem umístěným v blízkosti vozidla. Všechny pozice umístění senzoru popisovaly přesné souřadnice v souřadném systému s počátkem v těžišti vozidla, jehož poloha byla taktéž zjištěna měřeními a následným výpočtem provedeným v rámci této diplomové práce. Rovněž bylo zapotřebí navrhnout systém, který umožní současné měření a ukládání dat ze dvou senzorů Xsens. To bylo vyřešeno využitím dvou notebooků s programem DEWESoft, k nimž bylo navrženo a vyrobeno triggerovací zařízení pro stejný okamžik spuštění ukládání na obou počítačích. Tato porovnávací měření byla provedena během průjezdů předjížděcího manévru dne ISO/TR3888 vozidlem Škoda Fabia TDI při rychlosti $55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Měření při průjezdu tímto manévrem bylo provedeno i na hranici adheze při rychlosti $102 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, z něhož byl odvozen maximální součinitel adheze pro dané podmínky, který měl hodnotu 0,902. Při měřeních jízdy na sněhové pokrývce se součinitel adheze nejčastěji pohyboval kolem hodnot 0,22 a 0,24.

Součinitel adheze byl určen i z měření jízdy vozidla Škoda Octavia WRC, při které jeho maximální hodnoty dosahovaly hodnot 1,216 při brzdění, 1,092 při akceleraci a 1,119 při průjezdu zatáčkou. Maximální rychlost průjezdu normalizovaným manévrem dosáhla hodnoty 120km/h, při které již nastal smyk při průjezdu jedné ze zatáček, který popisují i naměřená data z gyroskopického senzoru. Data z průjezdu tímto manévrem při rychlostech 55, 80 a 120 km·h⁻¹ uvádí jeden graf závislosti na vzdálenosti od začátku manévru, tím na rozdíl od časových průběhů umožňuje vzájemné porovnání hodnot pro dané rychlosti v jednotlivých úsecích manévru. Detailní analýza se zabývá startem tohoto vozu, ke které byla využita nejen data z gyroskopického snímače, GPS přijímače, ale i ze zaznamenaných dat interním dataloggerem řídicí jednotky motoru. Navíc bylo porovnáno naměřené zrychlení v podélném směru s vypočteným maximálním možným zrychlením vozidla dle výkonových parametrů hnacího agregátu a dynamických vlastností vozidla. Opačným postupem se z naměřeného zrychlení vozidla Škoda Fabia RS získaly výkonové parametry a následně porovnaly s parametry udávanými výrobcem. V rámci návrhu uplatnění využití gyroskopického snímače doporučuji použití záznamu z gyroskopického snímače během většiny měření při jízdách vozidel. Jako návrh možnosti uplatnění popisují studii založenou na datech naměřených gyroskopickým snímačem, která by sloužila pro návrh systému pro rekuperaci brzděné energie vozidla.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Vlk, F.: Podvozky motorových vozidel. Nakladatelství VLK, 1. vydání, Brno 2000. (ISBN 80-238-5274-4)
- [2] Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel. Nakladatelství VLK, 1. vydání, Brno 2001. (ISBN 80-238-5273-6)
- [3] Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Nakladatelství VLK, 1. vydání, Brno 2001. (ISBN 80-238-6573-0)
- [4] Rexteam Besedice: Interní materiály a data, 2004-2013.
- [5] Vlastní studijní materiály – Střední průmyslová škola Mladá Boleslav, 2003-2007.
- [6] Vlastní studijní materiály – Technická univerzita v Liberci, 2007-2013.
- [7] Xsens Technologies B.V.: MTi and MTx User Manual and Technical Documentation. Revision N, 27 May 2009.
- [8] <http://www.moxa.cz/picture.asp?pic=181608021210.jpg>.
- [9] <http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=ACC793>
- [10] http://www.corrsys-datron.com/mechanical_sensors.htm
- [12] Škoda Auto.: Učební pomůcka 28: ESP Octavia. Škoda Auto, 1. vydání, Mladá Boleslav 2003. (SP28-03)
- [13] Škoda Motorsport: Škoda Octavia WRC – katalog náhradních dílů, popis a servisní příručka, příručka pro jezdce, utahovací momenty. Škoda Auto a.s., Mladá Boleslav 2003.

8 PŘÍLOHY

8.1 NÁVODY PRO INSTALACI A NASTAVENÍ SOFTWARE

8.1.1 DEWESOFT

Jelikož bezproblémovou funkci programu a tedy i výsledky veškerých měření podmiňuje správná instalace programu Dewesoft, považuji za vhodné zde zmínit postup při instalaci.

Na následujících obrázcích jsou zvýrazněny jednotlivé kroky.

Vložení instalačního CD DEWESoft (obr.8.1) do CD mechaniky.



Obr. 8.1 Instalační CD
DEWESoft

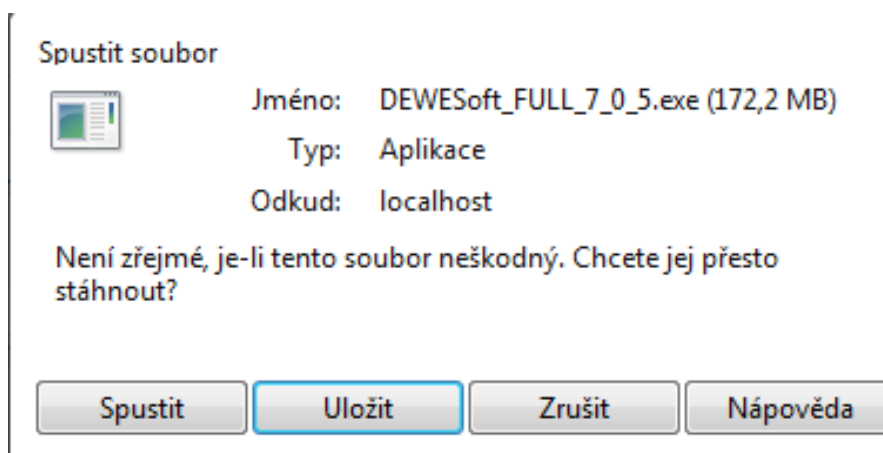


Obr. 8.2 Instalace Dewesoft - krok 1

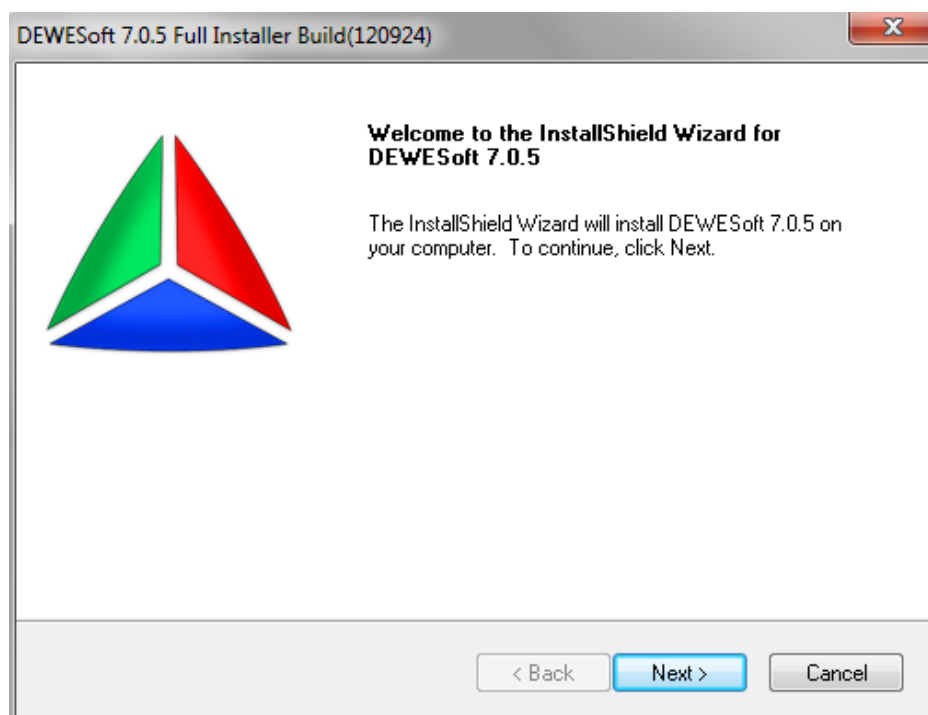
Seznam složek
[F:/Install/Software/DEWESoft7/](#)

Jméno	Typ	Velikost	Změněno
.	Složka		4.10.2012 8:18:13
..	Složka		13.6.2012 12:08:18
Plugin_Xsens	Složka		22.11.2012 11:51:18
DEWESoft_FULL_7_0_5.exe	Aplikace	176 293 KB	25.9.2012 9:05:39

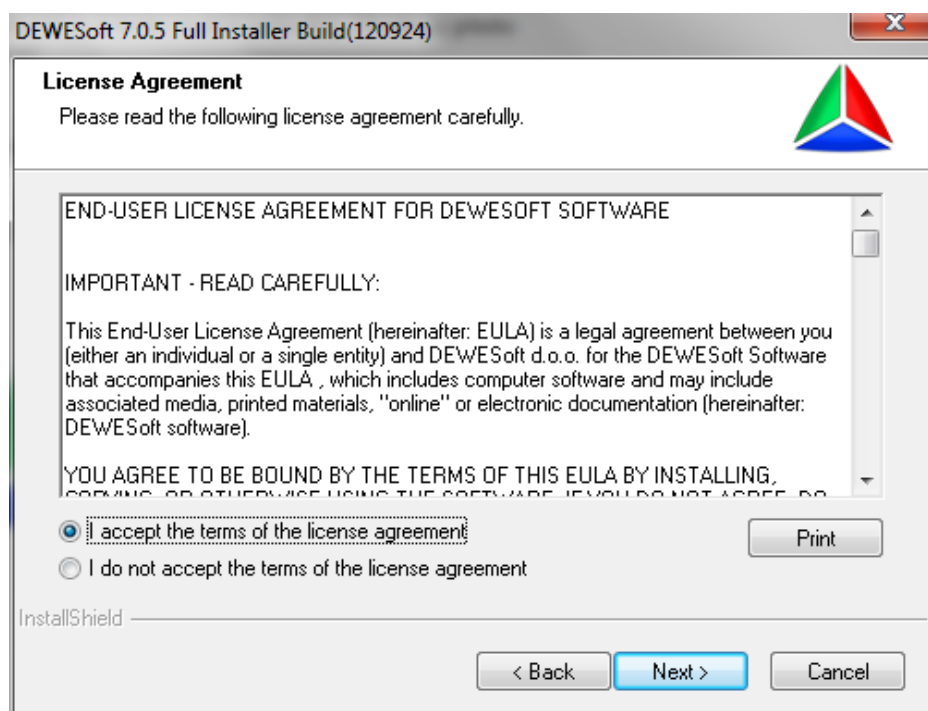
Obr. 8.3 Instalace Dewesoft - krok 2



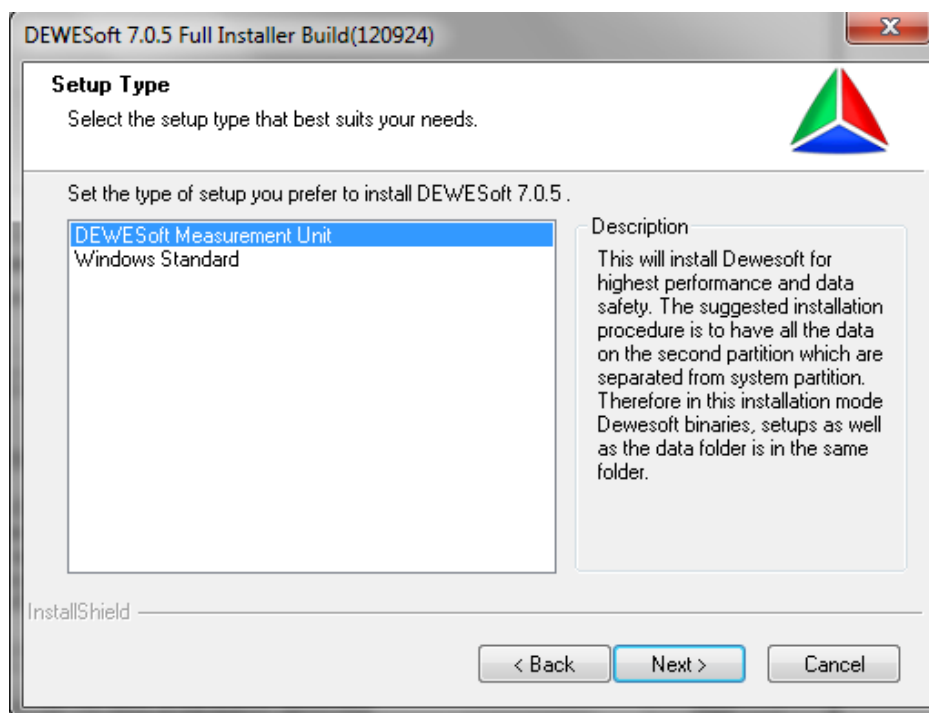
Obr. 8.4 Instalace Dewesoft - krok 3



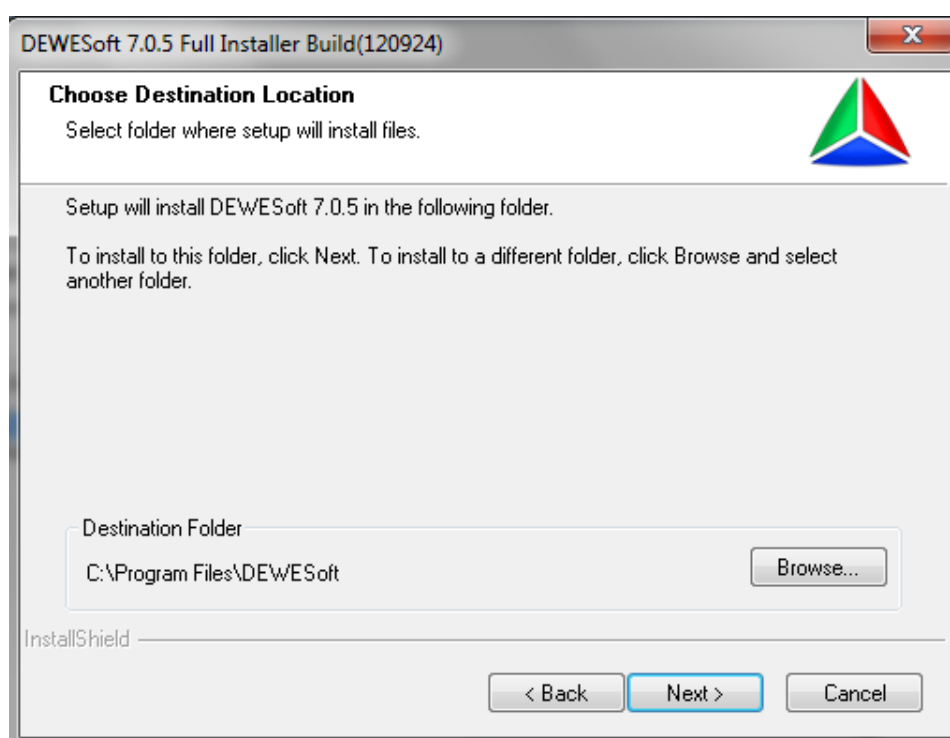
Obr. 8.5 Instalace Dewesoft - krok 4



Obr. 8.6 Instalace Dewesoft - krok 5



Obr. 8.7 Instalace Dewesoft - krok 6



Obr. 8.8 Instalace Dewesoft - krok 7

DEWESoft 7.0.5 Full Installer Build(120924)

Customer Information
Please enter your information.

User Name:
Technical University

User Location:
Liberec

InstallShield

< Back Next > Cancel

Obr. 8.9 Instalace Dewesoft - krok 8

DEWESoft 7.0.5 Full Installer Build(120924)

Select Features
Select the options you want to install.

Select which options to install for DEWESoft.

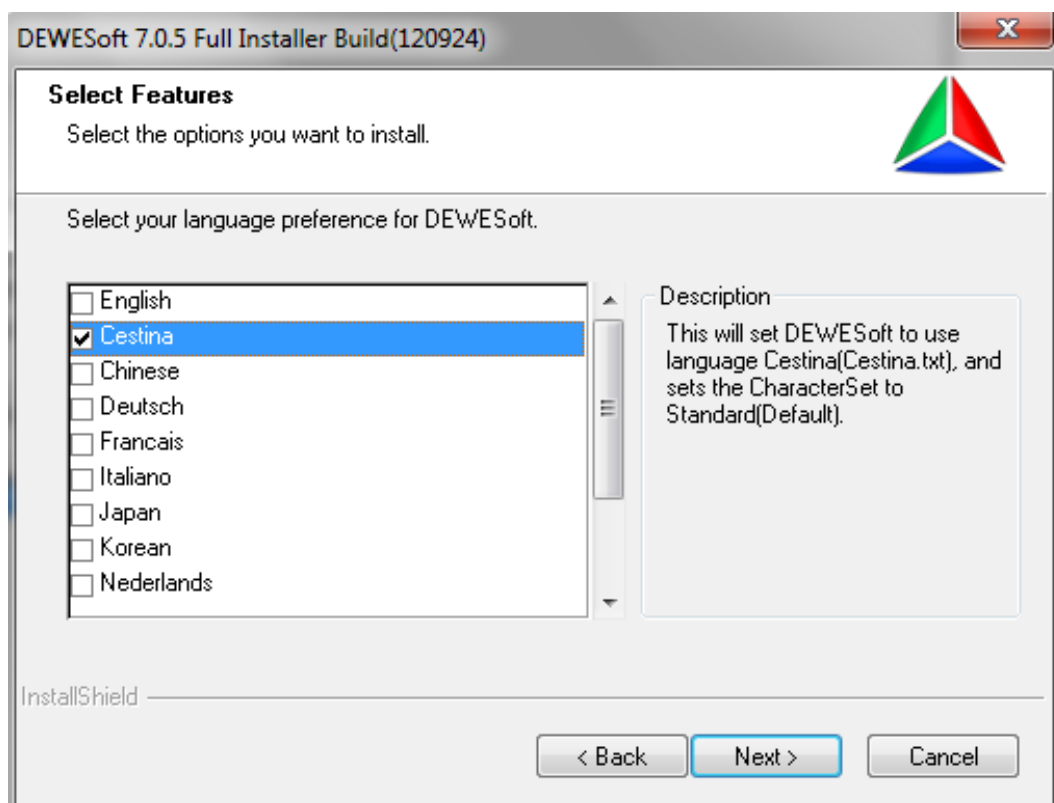
	Description
<input checked="" type="checkbox"/> DEWESoft Option NET addons	Installs option NET addons, for remote control or cascading several machines via ethernet.

Select All Clear All

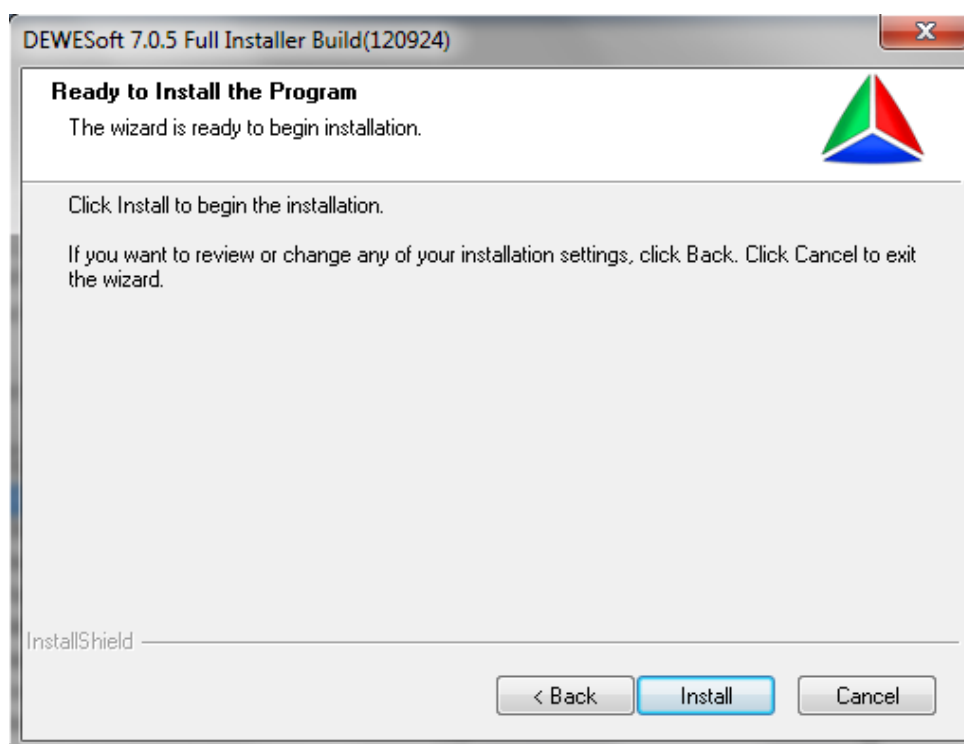
InstallShield

< Back Next > Cancel

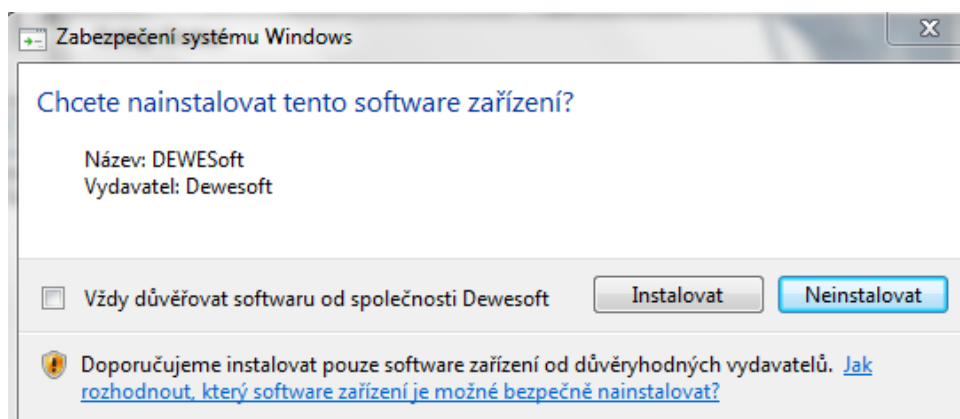
Obr. 8.10 Instalace Dewesoft - krok 9



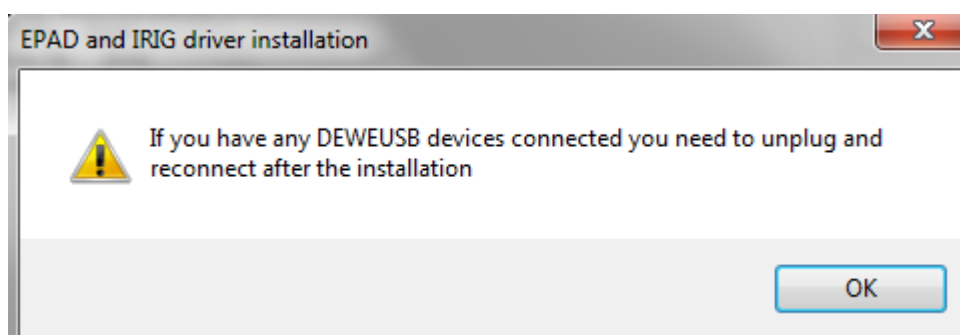
Obr. 8.11 Instalace Dewesoft - krok 10



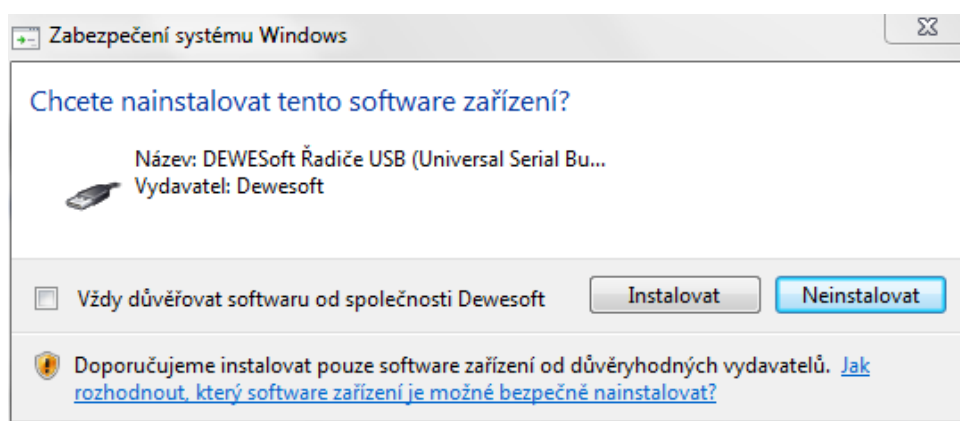
Obr. 8.12 Instalace Dewesoft - krok 11



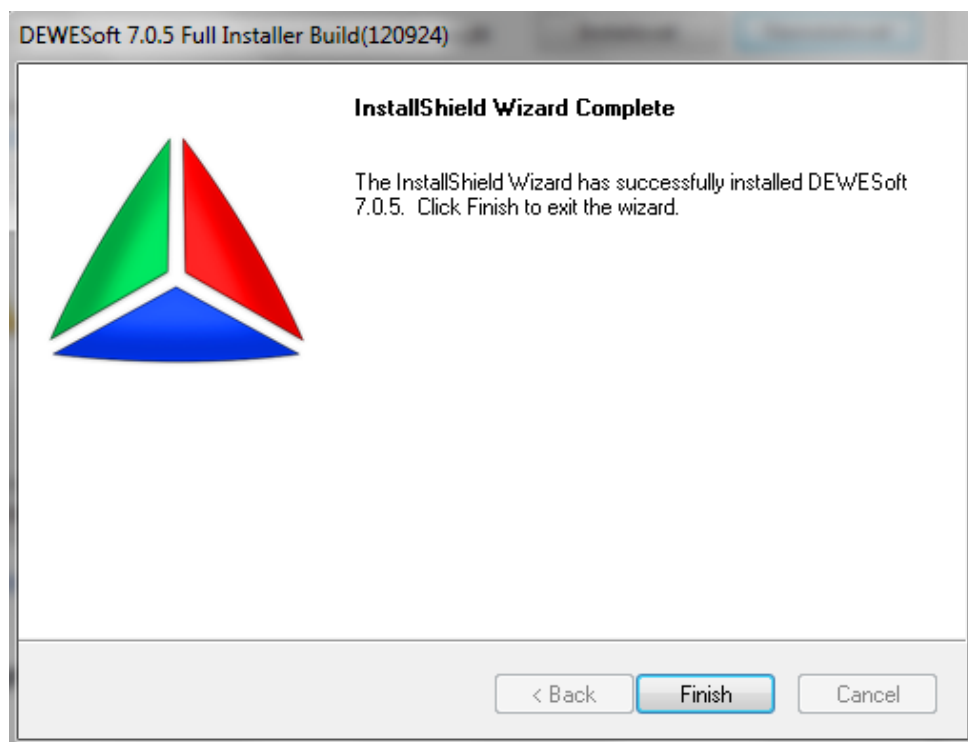
Obr. 8.13 Instalace Dewesoft - krok 12



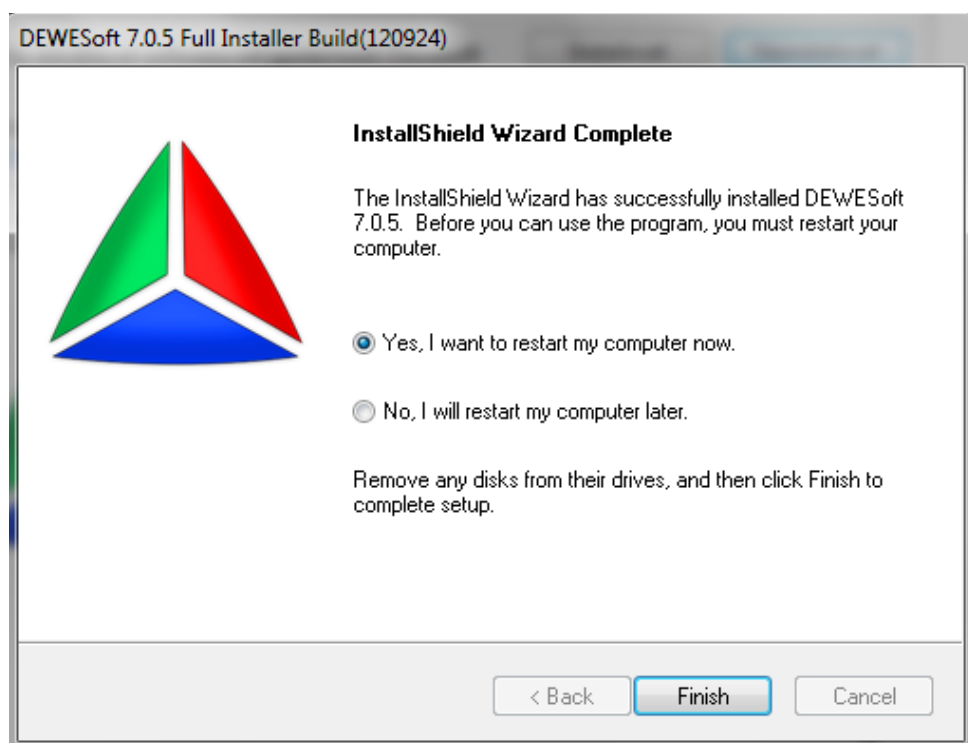
Obr. 8.14 Instalace Dewesoft - krok 13



Obr. 8.15 Instalace Dewesoft - krok 14



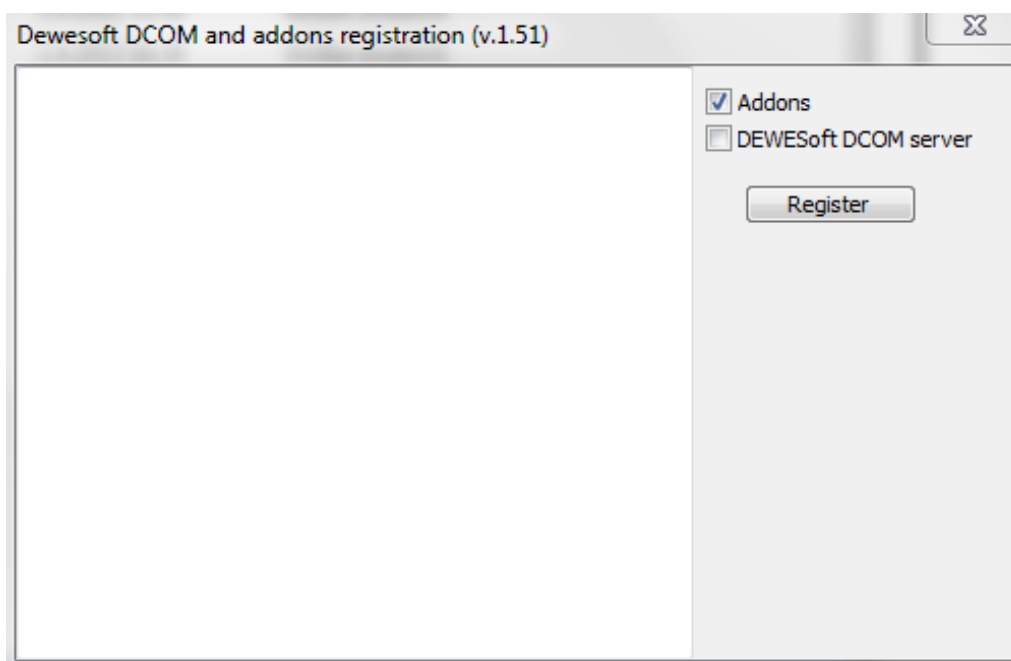
Obr. 8.16 Instalace Dewesoft - krok 15



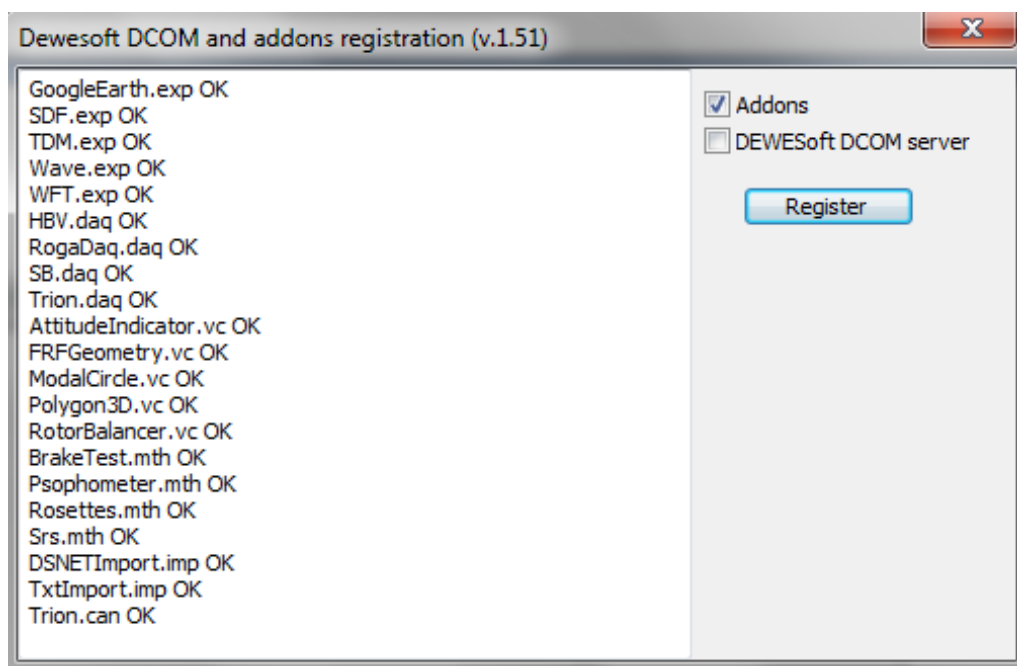
Obr. 8.17 Instalace Dewesoft - krok 16

Po zvládnutí 16 kroků instalace je nutné restartovat počítač. K zajištění kompatibility se senzorem XSens je nutné před prvním spuštěním přkopírovat plugin ovladače tohoto senzoru. Nejjednodušší způsob je nahradit celý obsah složky, do které byl program nainstalován (7. krok instalace, ve vzorovém případě: C:\Program Files\DEWESoft), celým obsahem složky "DEWESoft_komplet", která se nachází na CD přiloženém k instalačnímu CD DEWESoft.

Ještě před prvním spuštěním programu DEWESoft je nutná Addons registrace. Ta se provede spuštěním aplikace DEWESoft DCOM registration, která se automaticky nainstalovala s programem DEWESoft. Postup registrace popisují obrázky 8.17 a 8.18.



Obr. 8.17 Registrace Addons- krok 1

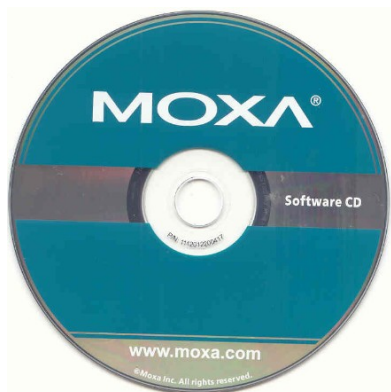


Obr. 8.18 Registrace Addons- krok 2

8.1.2 USB / RS-232 PŘEVODNÍK



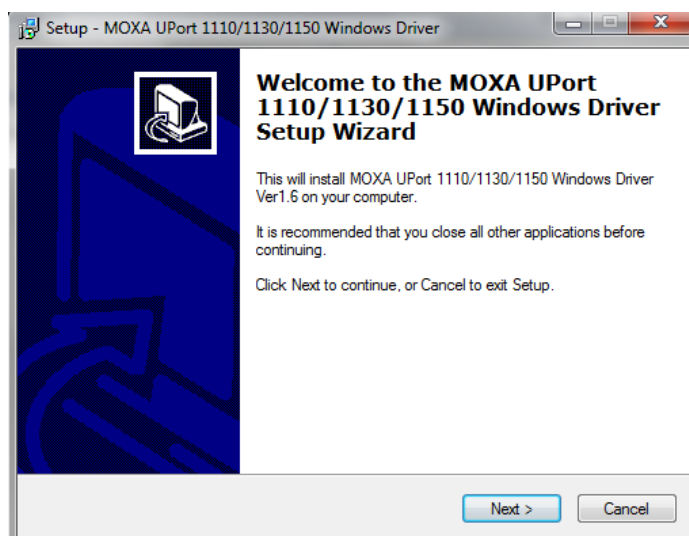
Obr. 8.19 MOXA UPort 1110 [8]



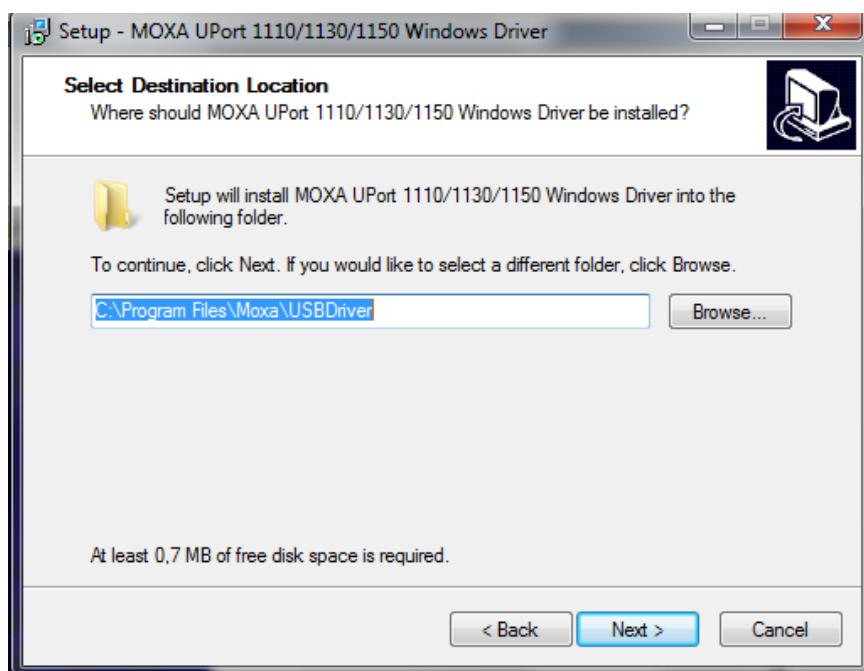
Obr. 8.20 Instalační CD Moxa

Výstupní konektor snímače Xsens Gyro MTi používá normu a protokol RS-232. Pro možnost připojení k moderním osobním počítačům, které již běžně tento port neobsahují, je použito převodníku mezi konektorem RS-232 na straně senzoru a USB portem. Takovýchto převodníků dnešní trh nabízí mnoho, avšak ne všechny splňují požadavky na přenos dat dle potřeby programu a senzoru. Společností Dewetron -

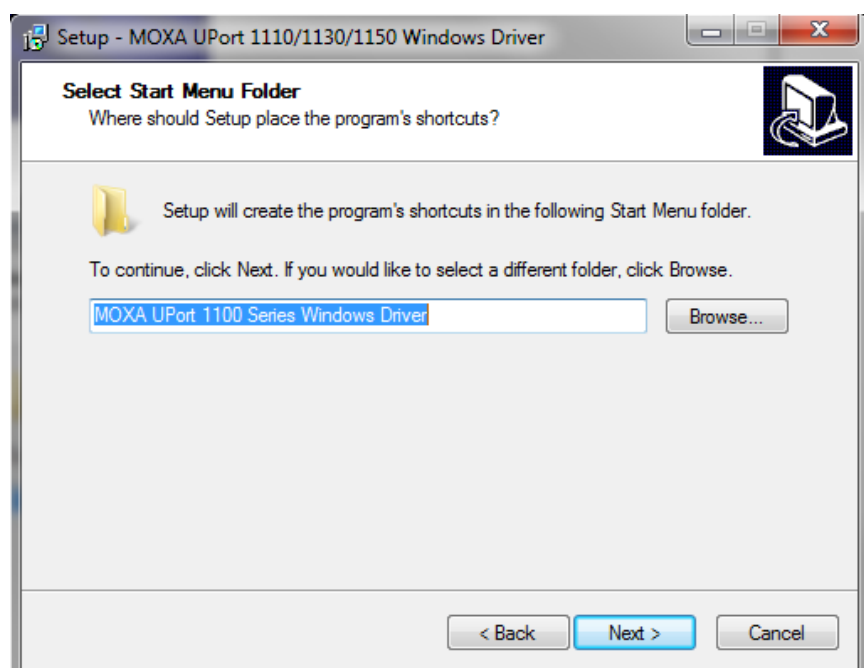
Praha spol. s.r.o. (dodavatel softwaru DEWESoft a snímače Xsens Gyro MTi do TUL) byl doporučen převodník MOXA UPort 1110.



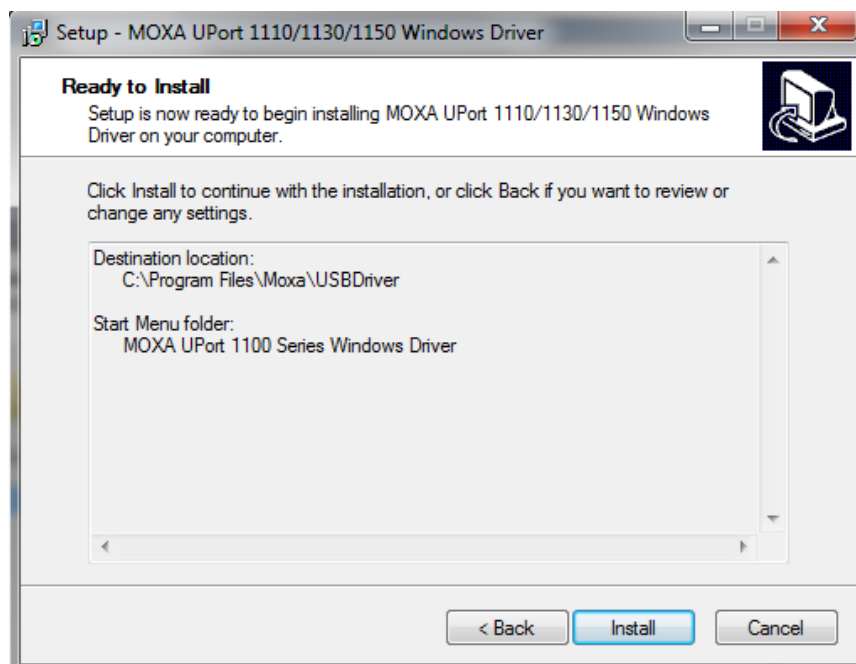
Obr. 8.21 Instalace ovladačů pro převodník MOXA UPort 1110 - krok 1



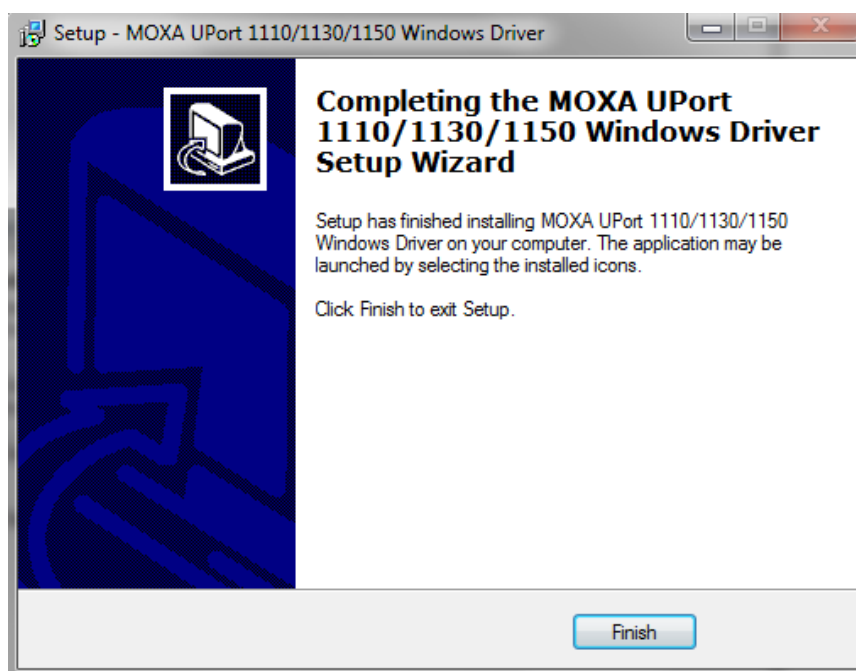
Obr. 8.22 Instalace ovladačů pro převodník MOXA UPort 1110 - krok 2



Obr. 8.23 Instalace ovladačů pro převodník MOXA UPort 1110 - krok 3



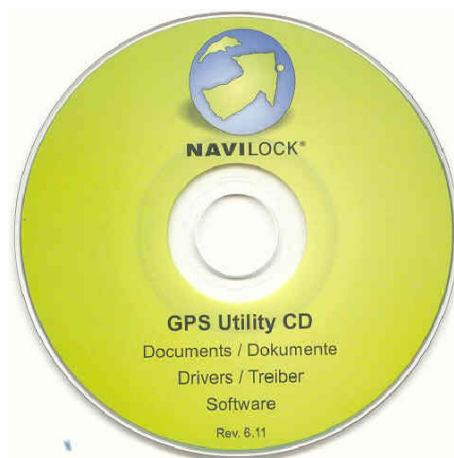
Obr. 8.24 Instalace ovladačů pro převodník MOXA UPort 1110 - krok 4



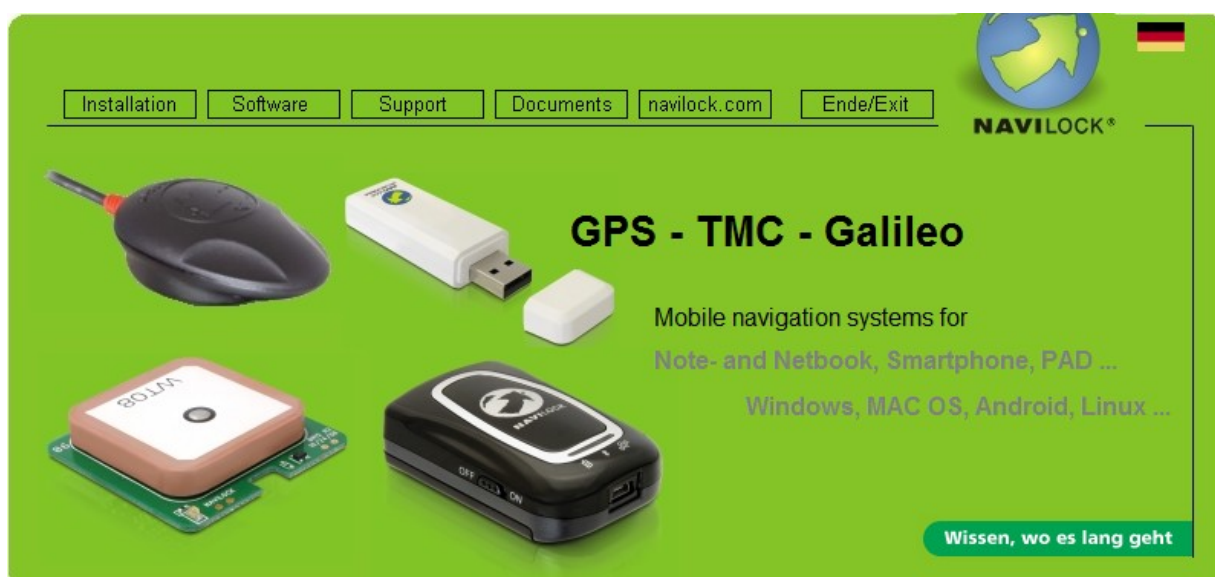
Obr. 8.25 Instalace ovladačů pro převodník MOXA UPort 1110 - krok 5

8.1.3 GPS PŘIJÍMAČ

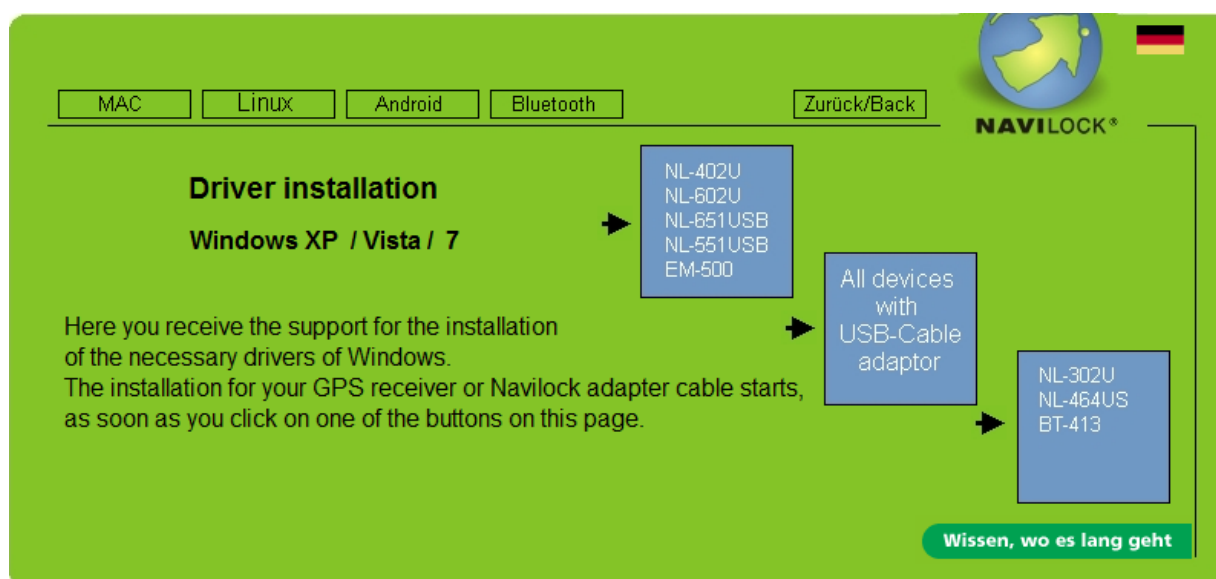
Pro instalaci softwaru pro GPS přijímač NAVILOCK je zapotřebí vložit instalační CD (obr. 8.26) a následně postupovat dle obrázků 8.27 až 8.30. Nastavení v rámci programu Dewesoft se provádí v sekci Nastavení > Nastavení hardwaru. Následně se musí nastavit stejné hodnoty, jako uvádí vzorový obrázek 8.31.



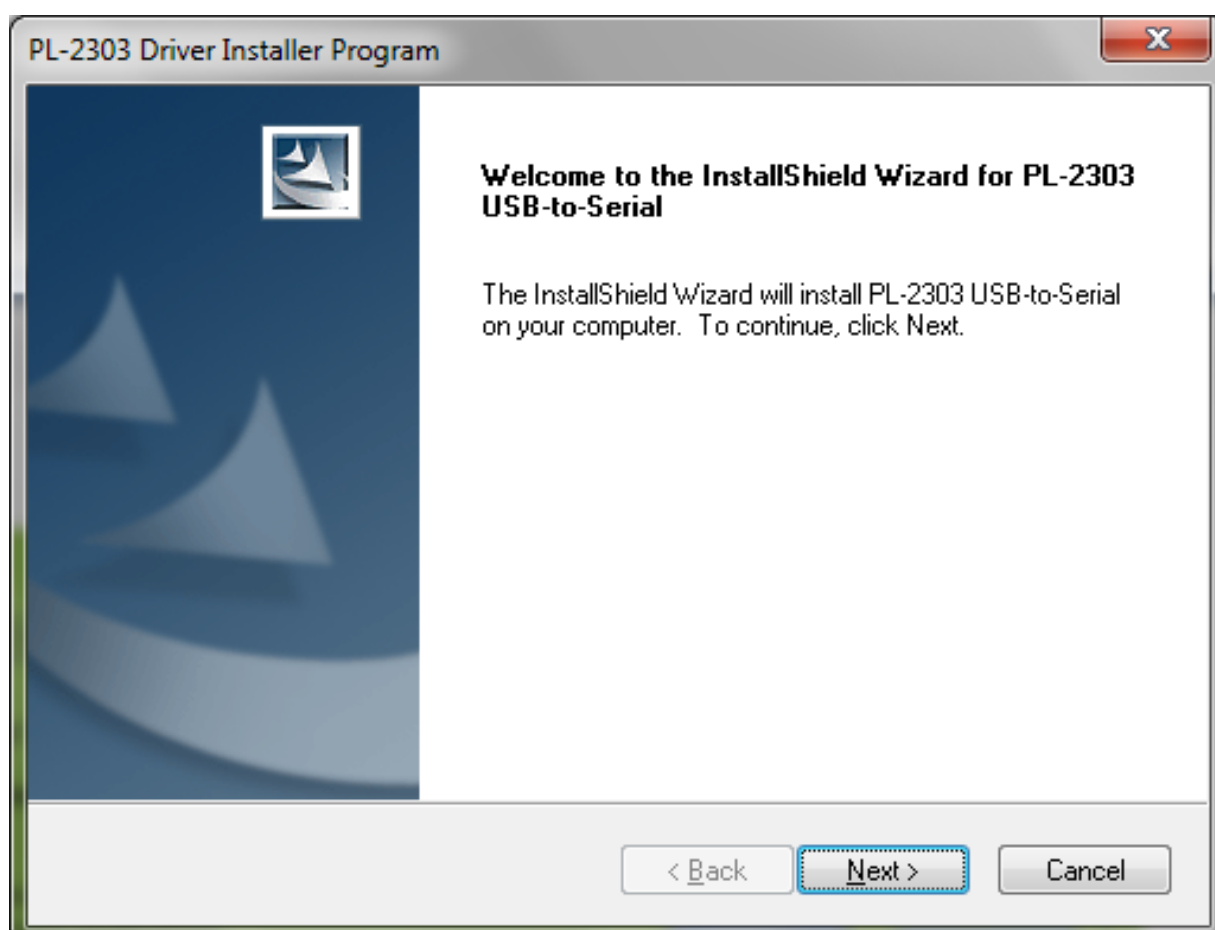
Obr. 8.26 Instalační CD
NAVILOCK



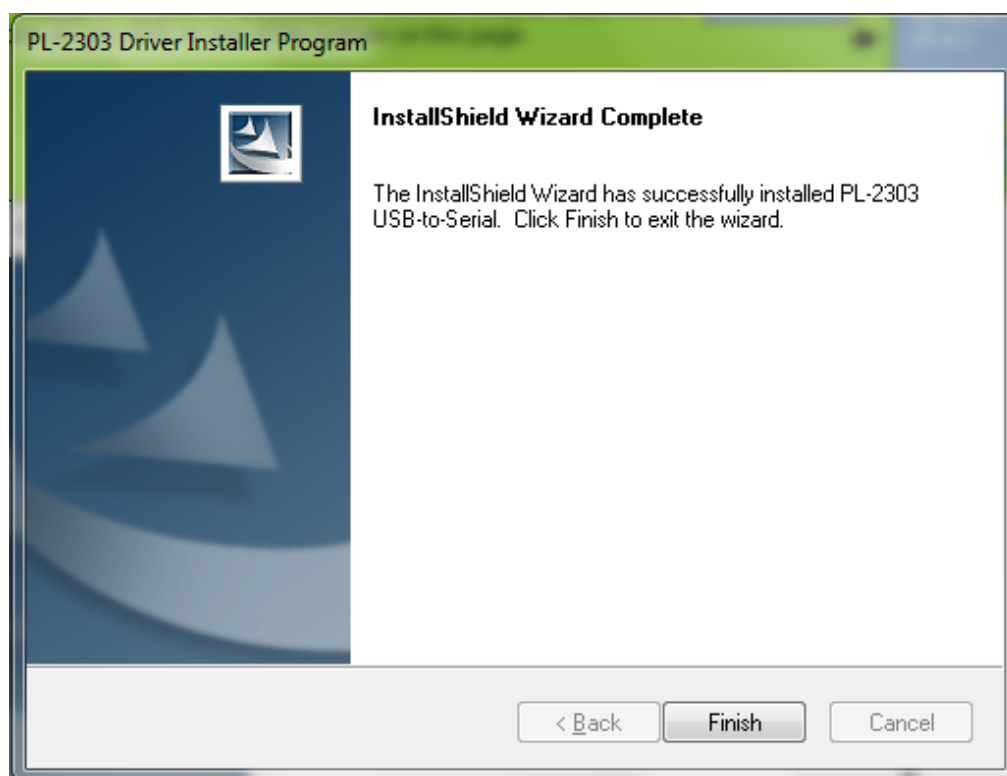
Obr. 8.27 Instalace GPS přijímače NAVILOCK - krok 1



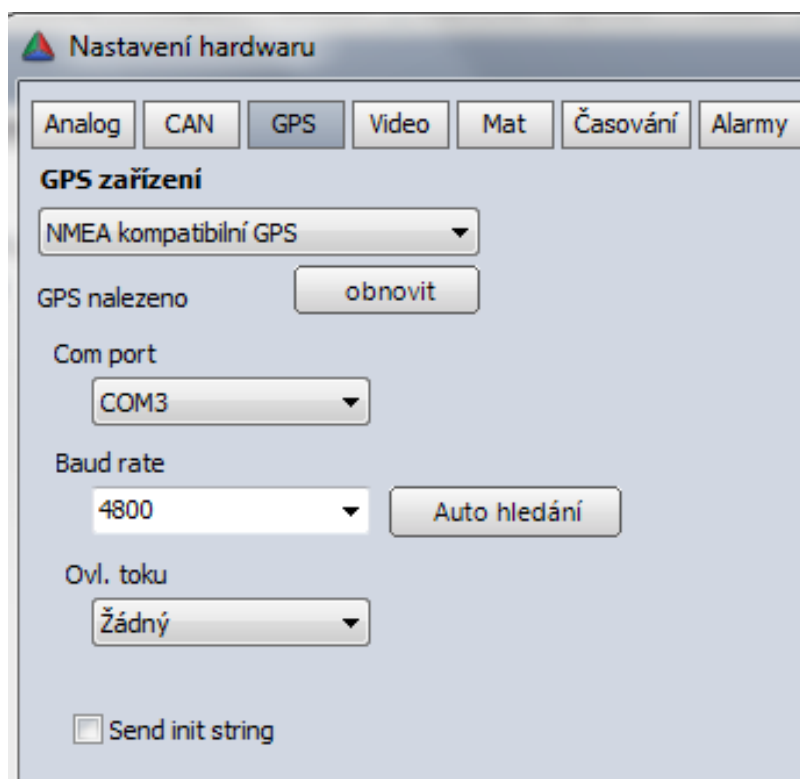
Obr. 8.28 Instalace GPS přijímače NAVILOCK - krok 2



Obr. 8.29 Instalace GPS přijímače NAVILOCK - krok 3



Obr. 8.30 Instalace GPS přijímače NAVILOCK - krok 4



Obr. 8.31 Nastavení pro GPS přijímač v rámci programu DEWESoft